

VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY
KATEDRA KYBERNETIKY A BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ

OPTIMALIZACE DATOVÝCH TOKŮ
LABORATOŘE PALIVOVÝCH ČLÁNKŮ

FUEL CELL LAB DATA FLOWS OPTIMIZATION

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jakub Němčík**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2612T041 Řídicí a informační systémy
Téma: **Optimalizace datových toků laboratoře palivových článků**
Fuel Cell Lab Data Flows Optimization
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Diplomová práce se zabývá optimalizací instalace a řízení provozu laboratoře palivových článků v rámci distribuovaného řídicího systému energetického centra.
Cílem je analýza stávající instalace, nalezení problémových míst při komunikaci mezi jednotlivými částmi systému a návrh na jejich odstranění, optimalizace toku dat pro záznam z provozu s ohledem na bezpečnost a zabezpečení provozu a propojení s jinými reálnými technologiemi.

V souhrnu je práce charakterizována následujícími body:

1. Analýza provozu laboratoře palivových článků.
2. Diagnostika a odstranění chyb provozu laboratoře s ohledem na ostatní instalované technologie.
3. Návrh a realizace diagnostického nástroje pro analýzu dat spojených s provozem laboratoře.
4. Návrh optimalizace provozu laboratoře palivových článků ve vztahu k řídicímu systému.
5. Návrh bezpečnosti a zabezpečení provozu v automatickém módu.
6. Zhotovení dokumentace řešení.
7. Zhodnocení výsledků řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] OBE, Regina O. and leo S. HSU. *PostgreSQL: Up and Running: A Practical Introduction to the Advanced Open Source Database*. 2 edition. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2014. ISBN 978-1449373191.
- [2] RINALDI, John S. *OPC UA - Unified Architecture: The Everyman's Guide to the Most Important Information Technology in Industrial Automation*. 1 edition. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2016. ISBN 978-1530505111.
- [3] KRUTZ, Ronald L. *Industrial Automation and Control Systems Security Principles*. 2 edition. International Society of Automation, 2016. ISBN 978-1941546826.
- [4] BEHLING, Noriko H.(ed.) *Fuel Cells: Current Technology Challenges and Future Research Needs*. 1 edition. [s.l.]: Elsevier, 2012. ISBN 978-0-444-56325-5.
- [5] KREIDL, Marcel a Radislav ŠMÍD. *Technická diagnostika: senzory, metody, analýza signálu*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-158-6. Elektronická kniha ve formátu PDF na CD ROM, 2011. ISBN 978-80-7300-314-2.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

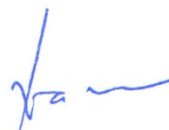
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Slanina, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018



doc. Ing. Jiří Kozírek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě

Datum odevzdání: 30. 4. 2018

Podpis:



Poděkování

Rád bych poděkoval své rodině a přítelkyni za podporu a trpělivost při studiu a během vypracovávání této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval vedoucímu této práce za odbornou pomoc a konzultace.

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je analyzovat provoz laboratoře palivových článků v rámci distribuovaného výzkumného centra ENET ve Vítkovicích. Na základě této analýzy následně diagnostikuji problémové místa komunikace mezi jednotlivými systémy a chyby provozu, jež taktéž musím odstranit. Nedílnou součástí odstranění chyb je i návrh optimalizace datových toků.

Práce také zahrnuje návrh diagnostického nástroje pro záznam dat spjatých s dlouhodobým provozem laboratoře s využitím databázového systému a vizualizace včetně popisu jednotlivých kroků a algoritmů jeho realizace. Zaobírám se také návrhem zabezpečení a bezpečnosti provozu laboratoře.

V závěru této práce zhodnocuji veškeré dosažené výsledky.

Klíčová slova

Optimalizace datových toků; MySQL; Grafana; Ukládání dat z PLC do databáze

Abstract

The goal of this diploma thesis is to analyze operation of the fuel cell laboratory within the distributed research center ENET in the Vítkovice. Afterwards, based on this analysis, I diagnose problematic parts of communication between individual systems and errors in operation that I also have to eliminate. The integral part of the error elimination is the design of data stream optimization.

The thesis also includes the design of a diagnostic tool for recording data related to the long-term operation of the laboratory using a database system and visualization, including a description of individual steps and algorithms its implementation. I also deal with the design of security and safety of the laboratory operation.

At the end of this work I evaluate all the achieved results.

Key Words

Data flow optimization; MySQL; Grafana; Saving data from PLC to a database

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	9
Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	11
1 Úvod	12
2 Analýza provozu laboratoře palivových článků	13
2.1 Řízený systém	13
2.1.1 Palivové články	14
2.1.2 Přívod vodíku	15
2.1.3 Chladicí okruh	16
2.1.4 Kompresory pro přísun vzduchu	17
2.1.5 Zvlhčovač	17
2.1.6 Měnič	18
2.1.7 Profouknutí membrány	18
2.2 Řídicí systém	18
2.3 Struktura řídicího systému	19
2.3.1 OPC server	20
2.3.2 S7 protokol	21
2.4 Vizualizační systém	21
3 Diagnostika a odstranění chyb provozu	22
3.1 Zpoždění komunikace	22
3.1.1 Měření zpoždění	24
3.2 Řízení měniče z vizualizace	25
3.3 Chybějící zapojení CVM	25
3.4 Odstranění zpoždění	25
3.5 Propojení měniče s řídicím systémem	25
3.6 Propojení CVM k řídicímu systému	26
4 Návrh optimalizace provozu laboratoře palivových článků	29
4.1 Změna komunikační struktury	29
4.2 Minimalizace zasílaných a přijímaných dat	30
5 Návrh diagnostického nástroje pro analýzu dat	31
5.1 Diagnostické prostředky	31
5.1.1 Diagnostický systém	31

5.2	Návrh diagnostického nástroje	31
5.2.1	Výběr vizualizačního systému	32
5.2.2	Výběr databázového systému	33
5.2.3	Výběr prostředku pro zápis dat do databáze	33
6	Realizace diagnostického nástroje	34
6.1	Tvorba databázových tabulek	34
6.2	Propojení databáze a vizualizace	35
6.2.1	Nastavení ODBC	36
6.2.2	Nastavení objektu PmADO	36
6.2.3	Kontrola připojení objektu PmAdo k databázi	37
6.3	Zápis dat do databáze	37
6.3.1	Zápis hodnot	37
6.3.2	Zápis parametrů	39
6.3.3	Zápis poruch	39
6.3.4	Zápis povelů	39
6.3.5	Tvorba dotazu	41
6.4	Instalace a konfigurace systému Grafana	42
6.5	Struktura panelů	44
6.5.1	Panel chladicí soustavy palivových článků	44
6.5.2	Panel měniče U50	46
6.5.3	Panel pro přívodu vodíku a kompresory	46
6.5.4	Panel palivových článků	47
7	Návrh bezpečnosti a zabezpečení provozu	50
7.1	Analýza laboratoře z pohledu nebezpečí výbuchu	50
7.1.1	Použité elektrická zařízení nevyhovující výbušnému prostředí	51
7.1.2	Ochranná zařízení použita v laboratoři	51
7.2	Návrh zabezpečení a bezpečnosti	53
8	Závěr	54
	Literatura	56

Seznam použitých symbolů a zkratek

A	(Ampér) Základní jednotka proudu
B	(Byte) Jednotka označující množství dat, odvozenými jednotkami jsou kB, GB či TB
CAN	(Controller Area Network) sériová datová sběrnice
CVM	(Cell Voltage Monitor) monitorovací systém palivových článků
DC	(Direct Current) Stejnosměrný proud
DSN	(Data Source Name) Název datového zdroje
GSD	(General Station Description) přípona souboru, jež je určen pro popis zařízení
I	Značení proudu
ID	Identifikátor
kW	Odvozená jednotka wattu, jednotka výkonu
kbps	(kb per second) jednotka rychlosti toku dat
l	litr, objemová jednotka
M	Značení spotřeby
min	minuta, jednotka času
ms	mili-sekunda, jednotka času
n	Značení množství či počtu
NŘS	Nadřazený řídicí systém
ODBC	(Open Database Connectivity) Rozhraní pro přístup k databázovým systémům
OPC	(Open Platform Communication) Komunikační rozhraní pro řízení a monitorování
P	Značení výkonu
PČ	Palivový článek
PDU	(Protocol Data Unit) Protokolová datová jednotka
PEM	Polymerní membrána
PEMFC	Palivové články s polymerní membránou
PLC	(Programmable Logic Controller) Programovatelný logický automat
RTU	(Remote Terminal Unit) Vzdálená koncová jednotka
SQL	(Structured Query Language) standardizovaný strukturovaný dotazovací jazyk
U	Značení napětí
V	(Volt) Základní jednotka napětí
°C	Jednotka teploty

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Základní části provozu laboratoře palivových článků.....	13
Obrázek 2 – Schéma řízeného systému.....	13
Obrázek 3 - Palivový článek typu PEM společnosti Nedstack.....	15
Obrázek 4 - Schéma přívodu vodíku do palivových článků.....	15
Obrázek 5 - Schéma systému pro chlazení palivových článků.....	16
Obrázek 6 - Schéma přísunu vzduchu do palivových článků.....	17
Obrázek 7 - Schéma zvlhčovače.....	18
Obrázek 8 – Schéma distribuované hierarchické struktury řídicího systému.....	20
Obrázek 9 - Ukázka konfigurace S7 komunikace s PLC pro vodíkovou laboratoř.....	24
Obrázek 10 - Nastavení převodníku Profibus/Modbus.....	26
Obrázek 11 - Nastavení převodníku CAN/Profibus.....	27
Obrázek 12 - Návrh změny komunikační struktury.....	29
Obrázek 13 - Návrh diagnostického nástroje.....	32
Obrázek 14 - Zakomponování návrhu do systému laboratoře.....	32
Obrázek 15 - Využití serverové části vizualizace.....	33
Obrázek 16 - Konfigurace databázového spojení.....	34
Obrázek 17 – Konfigurace ODBC.....	36
Obrázek 18 - Aktivitní diagram zápisu tabulek hodnot do databáze.....	38
Obrázek 19 - Aktivitní diagram zápisu parametrů.....	40
Obrázek 20 - Aktivitní diagram popisující vytváření a provádění dotazů.....	42
Obrázek 21 - Nastavení cesty pro spuštění Grafany jako služby.....	43
Obrázek 22 - Nastavení uživatele, který může službu konfigurovat.....	43
Obrázek 23 - Panel pro chladicí soustavu.....	44
Obrázek 24 - Panel pro měnič U50.....	46
Obrázek 25 - První část panelu pro přívod vodíku.....	47
Obrázek 26 - Druhá část panelu pro přívod vodíku.....	47
Obrázek 27 - Panel palivových článků - článek 1.....	49
Obrázek 28 - Umístění ochranných prvků laboratoře.....	52
Obrázek 29 - Vyhodnocovací ústředna DEGA UMA CU.....	53

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Označení PLC a dané technologie.....	19
Tabulka 2 – Adresy PLC daných technologií řídicího systému	20
Tabulka 3 - Porovnání ISO/OSI modelu s protokolem S7	21
Tabulka 4 - Množství dat, které jsou přijímány a vysílány NŘS	22
Tabulka 5 - Přijímané rámce	28
Tabulka 6 - Zasiílané rámce	28
Tabulka 7 - Množství potřebných dat pro provoz laboratoře	30
Tabulka 8 - Seznam databázových tabulek s počtem sloupců	35
Tabulka 9 - Skupiny výbušných plynů.....	51

1 Úvod

Diplomová práce se zabývá optimalizací instalace a řízení provozu laboratoře palivových článků v centru ENET ve Vítkovicích, které se zabývá vývojem a výzkumem alternativních paliv a obnovitelných zdrojů bez jakýchkoliv škodlivých vlivů na okolní prostředí. Samotné centrum se skládá z několika technologií, které jsou mezi sebou provázány.

Pro pochopení funkčnosti a technologie laboratoře palivových článků budu muset provést analýzu stávající instalace. Analýzou se tedy logicky budu zabývat v první fázi této práce. Pro ulehčení si analýzu rozdělím na čtyř základní částí: na analýzu samotného řízeného systému, tzn. palivových článků a zařízení pro jejich správnou funkčnost, analýzu řídicího systému, vizualizačního systému a komunikace mezi jednotlivými částmi. Laboratoř palivových článků obsahuje i technologii pro vytváření vodíku pomocí elektrolýzy. Vymezení práce však bylo stanoveno pouze na práci s palivovými články a přidružených pomocných zařízení.

Na základě analýzy stávající instalace v další fázi provedu diagnostiku kritických chyb provozu laboratoře a to z hlediska komunikace mezi jednotlivými řídicími částmi systému. Hlavním problémem celého provozu je zpoždění reakce systému po zadání řídicího povelu z vizualizace. Součástí této kapitoly tedy bude nalezení problémových míst v komunikaci a chyb provozu včetně jejich odstranění. S tím souvisí i návrh optimalizace provozu laboratoře palivových článků ve vztahu k řídicímu systému, tedy jinými slovy optimalizace datových toků.

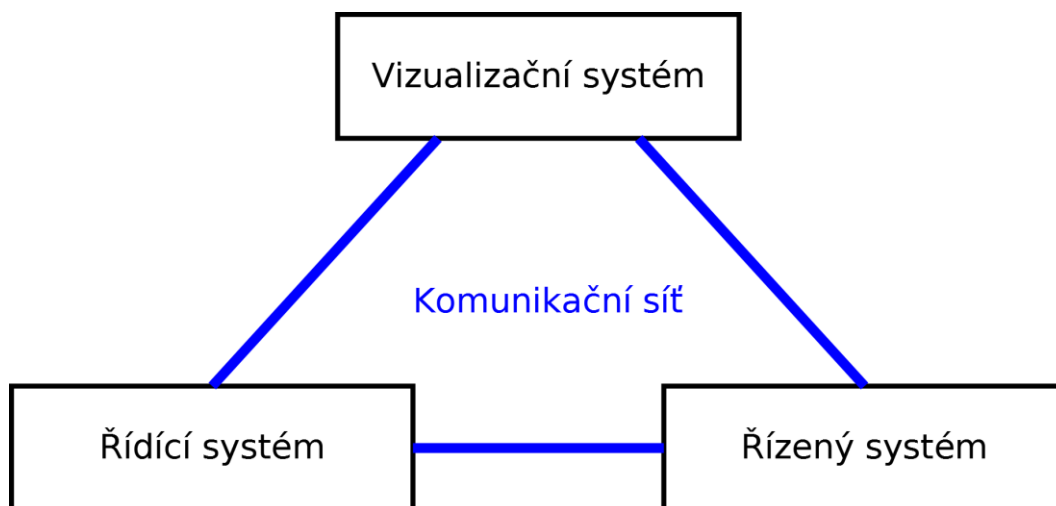
Hlavním cílem této práce je návrh diagnostického nástroje a jeho realizace, jež popíše v další části. Diagnostickým nástrojem je v tomhle případě myšlen takový monitorovací systém, který bude zobrazovat hodnoty v rámci delšího časového úseku (měsíce, roky) a současně je bude archivovat do databáze.

Z důvodu vypouštění malého množství vodíku ze zásobníků palivových článků a obecně z důvodu využívání výbušného vodíku se prostory laboratoře řadí k nebezpečným výbušným prostředím. Proto v rámci posledního bodu této práce provedu analýzu laboratoře i s pohledu bezpečnosti a zabezpečení, a navrhu způsob, jakým je zvýšit.

V závěru zhodnotím celou práci a dosažené výsledky týkajících se všech bodů.

2 Analýza provozu laboratoře palivových článků

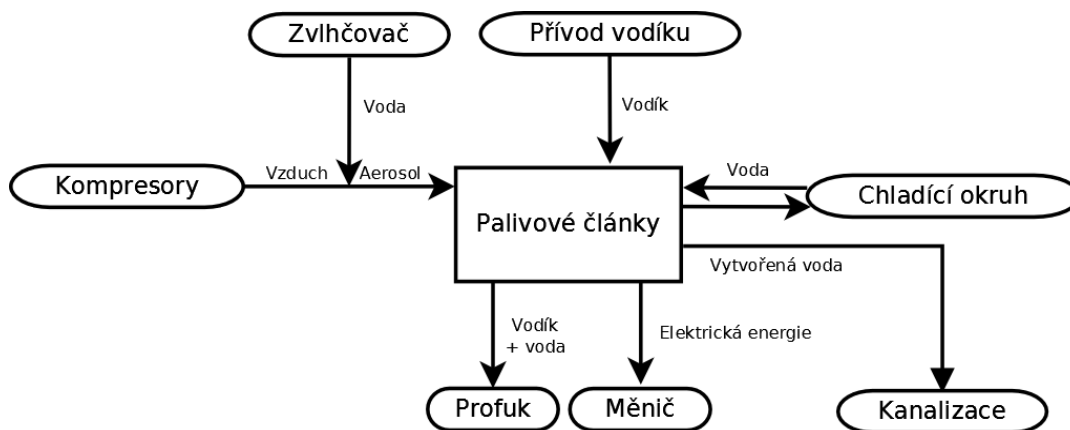
Aktuální provoz laboratoře palivových článků lze v podstatě vyjádřit třemi základními systémy. Jedná se o systém řídicí, řízený a vizualizační. Jednotlivé části neboli systémy jsou navzájem propojeny a provázány mezi sebou pomocí komunikační sítě, což zachycuje obrázek 1. Z toho vyplývá, že vizualizační systém nevyobrazuje pouze data z řídicího systému, ale i posílá některé příkazy přímo do řízeného systému. Řídicí systém tím pádem nezpracovává veškeré příkazy poslané z vizualizace. O tom, které příkazy jsou zasílané přímo a které ne pojednává kapitola níže, zabývající se nalezením problémových míst při komunikaci mezi jednotlivými částmi systému.



Obrázek 1 - Základní části provozu laboratoře palivových článků

2.1 Řízený systém

Řízený systém je soubor prvků a zařízení, které slouží k přeměně dodávaného vodíku na elektrickou energii. Základním prvkem je pět vodíkových palivových článků společnosti Nedstack zapojených do série, k nimž jsou připojeny další technologické zařízení, obstarávající jejich správnou funkcionality (viz obrázek 2). Těmito technologickými zařízeními jsou: systém zajišťující přívod vodíku; zvlhčovač; kompresory, jež dodávají vzduch; chladicí systém; systém na profouknutí membrány (neboli Profuk) palivového článku a měnič.



Obrázek 2 – Schéma řízeného systému

2.1.1 Palivové články

Všechny palivové články se skládají ze tří částí. Tyto části jsou anoda, katoda a elektrolyt či membrána. Aby článek správně fungoval, musí být zajištěn neustálý přísun paliva. Palivo (nejčastěji vodík) je přivedeno na anodu článku, kde za pomoci katalytické příměsi na povrchu anody se rozštěpí na kladné ionty a elektrony. Membrána či elektrolyt dovoluje průchod pouze kladně nabitým iontům z anody na katodu a zachytává elektrony. Tyto volné elektrony jsou vedeny elektrickým obvodem a způsobují vznik elektrického proudu. Na katodě poté dochází ke sloučení protonů a elektronů s oxidačním činidlem a ke vzniku dalších látek.

[4][6]

Existuje několik typů palivových článků. Rozlišují se převážně na základě typu používaného elektrolytu či membrány. To nám určuje typ elektrochemické reakce v palivovém článku, druh katalyzátoru, teplotní rozsah, ve kterém článek pracuje, potřebné palivo, atd. Na základě těchto vlastností se vymezuje použití daného typu článku.

Typy palivových článků:

- palivové články s tuhými oxidy;
- palivové články s tavenými uhličitany;
- palivové články s kyselinou fosforečnou;
- palivové články s alkalickým elektrolytem;
- palivové články s polymerní membránou.

[4][6][7]

Vodíková laboratoř využívá pěti zásobníku s palivovými články s polymerní membránou (PEMFC – Proton Exchange Membrane Fuel Cell nebo také PEM – Polymer Electrolyte Membrane) zapojených do série. Jako palivo využívají kromě vodíku i kyslík. Anoda tohoto typu palivového článku zde plní několik funkcí: vede elektrony, které jsou uvolňovány z molekul vodíku tak, aby mohly být použity ve vnějším obvodu, a rovnoměrně rozptyluje vodík na povrch katalyzátoru.

Katoda také vede elektrony, ovšem směrem z katalyzátoru do vnějšího obvodu, a rozptyluje kyslík. Na katodě dochází ke spojení kyslíku s vodíkovými kladnými ionty, čímž vzniká voda.

Tento typ článků nepoužívá elektrolyt, ale polymerní membránu, speciálně upravený materiál, jež vede pouze kladně nabité ionty a blokuje elektrony. Pro zajištění správné funkce a stability membrány musí být dostatečně zvlhčována.

Katalyzátor usnadňuje reakci kyslíku a vodíku. Obvykle je tvořen nanočásticemi platiny, které jsou potažené na uhlíkovém papíru nebo látce. Aby byla pokud možno co největší plocha platiny vystavena kyslíku a vodíku, tak je katalyzátor drsný a porézní. Strana potažená platinovými nanočásticemi je směřována k polymerní membráně.

[4][6][7][8]



Obrázek 3 - Palivový článek typu PEM společnosti Nedstack

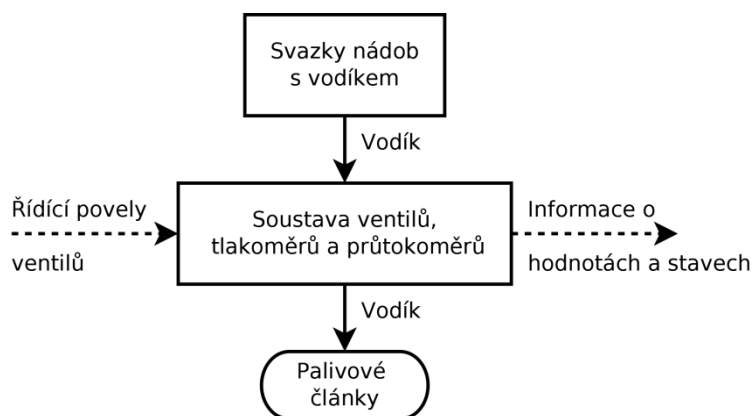
Zásobníky Nedstack v laboratoři byli využívány doposud pouze pro testovací účely, proto není zcela známo, jak dobře či vůbec pracují. Články by měly být schopny dodávat výkon 8 kW elektrické energie při stejnosměrném napětí v rozsahu 25,6 až 64 V a proudu v rozsahu 0 až 230 A. Počet článků v zásobníku je pro tento typ 64. Hodnota napětí na jednotlivých článcích je v rozsahu 0,4 až 1 V s tolerancí $\pm 10\%$. Napětí jednoho článku nesmí klesnout pod 0,3 V.

[21]

Nedílnou součástí zásobníku je i měřicí a monitorovací zařízení umístěné ve vrchní části zásobníku a nazývá se CVM (Cell Voltage Monitor). Tato součást článku slouží k měření a monitorování důležitých parametrů článku, jako jsou: napětí na jednotlivých článcích; teplota zásobníku či koncentrace vodíku. Tato jednotka by měla být zapojená pomocí sběrnice CAN s řídicím systémem.

2.1.2 Přívod vodíku

Dle informací výše, je pro správnou funkčnost palivových článků nutné zajistit neustálý přísun vodíku, jakožto paliva. O to se stará soustava dusíkových ventilů a plynového potrubí, které je zjednodušeně vyobrazeno na obrázku 4.



Obrázek 4 - Schéma přívodu vodíku do palivových článků

Svazky nádob jsou připojovány k plynovému potrubí pomocí ručních ventilů, které se nacházejí ve vnějších prostorách centra ENET. Za těmito hlavními ventily následuje několik dusíkových a ručních ventilů, pomocí kterých se určuje, do kterých palivových článků je vodík puštěn a do kterých nikoliv. Řídicí systém je schopen ovládat pouze vzduchové ventily. Pro kontrolu tlaku v potrubí je soustava ventilů vybavena tlakoměry a průtokoměry, jejichž hodnoty jsou posílány do řídicího systému.

Jelikož jsou ventily ovládány tlakovým potrubím plněné dusíkem, jsou součástí přívodního systému vodíku i přívod dusíku do jednotlivých ventilů. Toto potrubí je opět vybaveno patřičnými senzory.

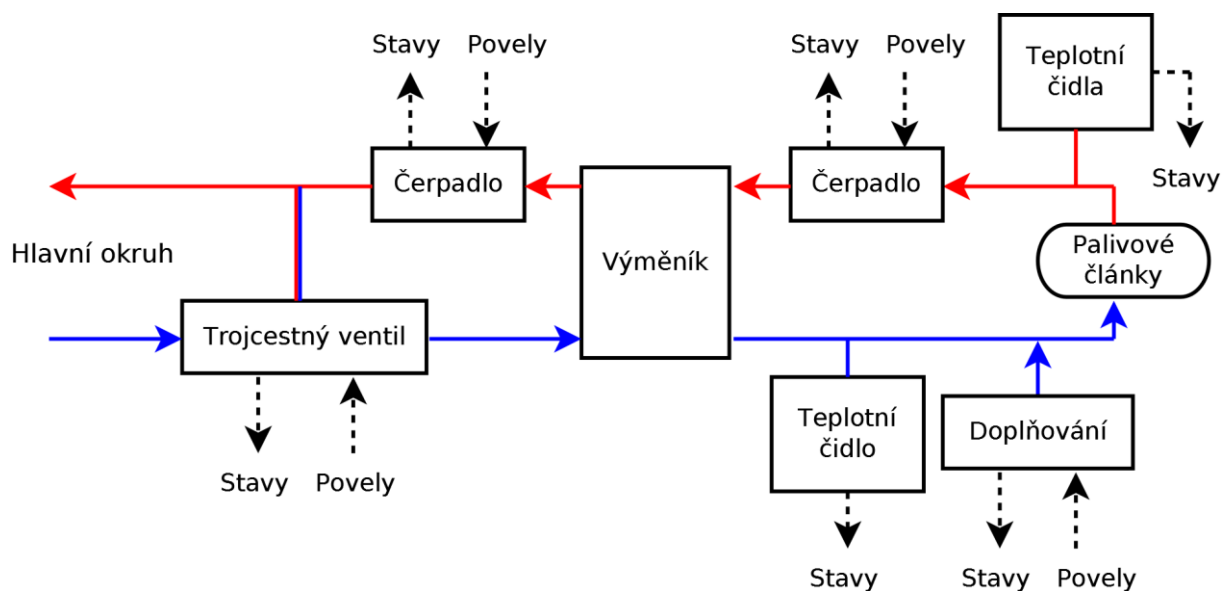
Použití dusíkových ventilů podléhá směrnici Evropského parlamentu a Rady 1992/92/ES o minimálních požadavcích na zlepšení bezpečnosti a ochrany zdraví zaměstnanců vystavených riziku výbušných prostředí. Při použití elektricky ovládaných ventilů by došlo ke zvýšení rizika výbuchu, neboť pracujeme s velmi výbušným vodíkem, který spadá do třídy výbušnosti IIC, viz kapitola zabývající se bezpečností.

[9]

2.1.3 Chladicí okruh

Palivové články vytvářejí kromě elektrické energie i teplo. Ideální provozní teplota palivových článků se musí pohybovat v rozmezí hodnot 60 až 70 °C. Chladicí okruh by měl udržovat teplotu palivových článků v tomto rozsahu. Pro názornost jsem nakreslil schéma chladicí soustavy (viz obrázek 5).

[21]



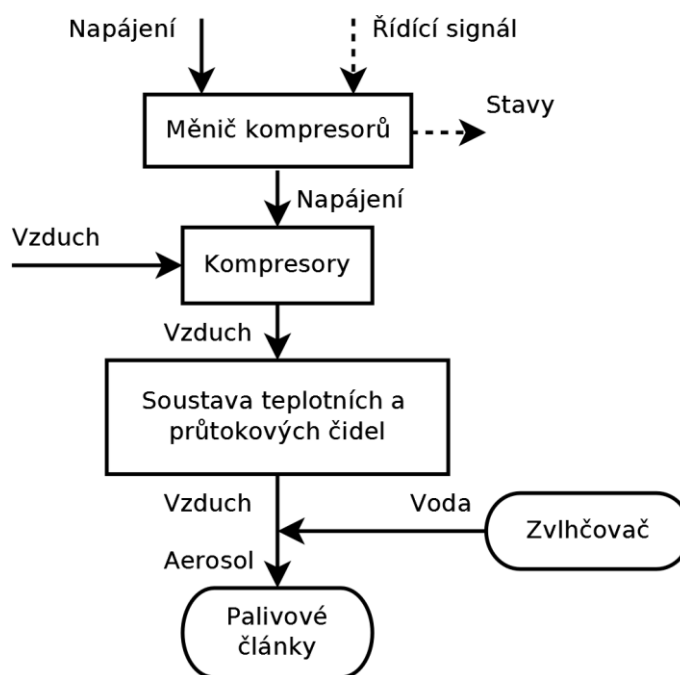
Obrázek 5 - Schéma systému pro chlazení palivových článků

Červené křivky znázorňují vodu, jež je ohřívána z důsledku činnosti palivových článků a modré křivky vyobrazují ochlazenou vodu, jež je přiváděna do palivových článků.

Chladicí okruh je rozdělen na několik okruhů. Nás ovšem zajímají dva z těchto okruhů a to: chladicí okruh laboratoře s palivovými články za výměníkem, a hlavní okruh, na němž je napojené i chlazení měničů, stratifikace a další okruhy pro různé technologie výzkumného centra ENET včetně chlazení elektrolýzy. Celý chladicí okruh je řízen několika čerpadly, trojcestnými ventily a ventilátory. Vnitřní okruh je vybaven mimo čerpadlo, jež se stará o koloběh vody ve vnitřním okruhu a vyrovnání teplot, o systém doplňování. Pro kontrolu je v chladicí soustavě využito i velké množství teplotních čidel, které se nacházejí v různých bodech obou okruhů, jak vnitřního, tak i hlavního, včetně míst jednotlivých palivových článků. Teplotu ohřívání a chladicí vody lze regulovat pouze polohou trojcestného ventilu a to tak, aby rozdíl teplot na vstupu a výstupu zásobníku s články byl 5 °C.

2.1.4 Kompresory pro přísun vzduchu

Na molekuly kyslíku se váží na katodě palivového článku kladné ionty vodíku. Jinak řečeno, bez kyslíku by palivový článek typu PEM nepracoval správně. Přísun kyslíku obstarávají kompresory (viz obrázek 6), jež jsou řízené napájením z měniče na základě řídicího signálu. Pro každý palivový článek je určen právě jeden kompresor, jež vhání vzduch do potrubí směrem ke katodám. Kompresory jsou k měniči připojené přes stykače a otáčky jsou řízeny napájením z měniče. Informace o průtoku vzduchu a teplotě jsou zprostředkovány pomocí soustavy teplotních čidel a průtokoměrů.

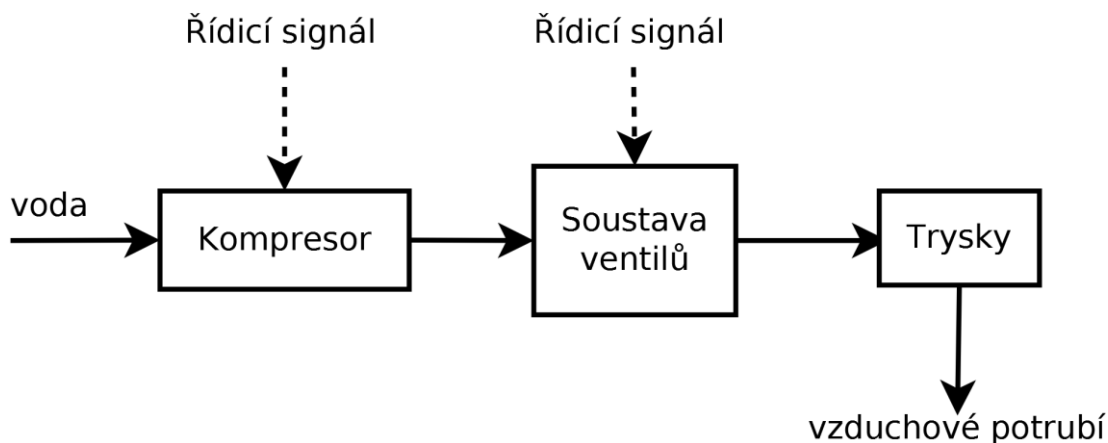


Obrázek 6 - Schéma přísunu vzduchu do palivových článků

2.1.5 Zvlhčovač

Ve vzduchovém potrubí dochází pomocí zvlhčovače ke tvorbě aerosolu. Tím dochází ke zvlhčení polymerní membrány, čímž je zajištěna její správná funkčnost a stabilita. Membrána udržuje tlak ze strany přívodu vodíku. V případě, kdy by nebyla dostatečně zvlhčována a příliš se vysušila, tak by při zvýšení tlaku vodíku mohlo dojít k jejímu průrazu, což má za následek zničení palivového článku.

Zvlhčovač se skládá z kompresoru, soustavy ventilů a trysek. Kompresor na základě řídicího signálu vhání vodu k soustavě pěti párů ventilů (v každém páru je ventil s menším průměrem potrubí a ventil s větším průměrem). Každý pár je napojen na trysku, která rozprašuje vodu do vzduchového potrubí k danému palivovému článku, tzn. každý pár je napojen právě na jednu trysku, která vytváří aerosol ve vzduchovém potrubí právě pro jeden palivový článek.



Obrázek 7 - Schéma zvlhčovače

2.1.6 Měnič

V centru ENET se nachází několik měničů. Elektrický proud z palivových článků je ovšem sveden na měnič s označením U50. Funkce měniče spočívá v zatěžování palivových článků, neboli umožňuje dodávat energii do stejnosměrné sběrnice z vodíkových palivových článků. Jedná se o třífázový zvyšující DC/DC měnič, který poskytuje informace o: proudu v jednotlivých větvích; napětí a proud na meziobvodu měniče; průtoku chladiva; teplotách řídicího systému a tranzistorů včetně stavů měniče. Ovládání je zajištěno dvěma parametry. Prvním parametrem je požadovaný proud, který je odebíraný z palivového článku. A druhým parametrem je bit označený CW_MEN_On v řídicím stavovém slově, který zapíná měnič.

Měnič není ovládán řídicím systémem, jak by tomu mělo být, ale samotným vizualizačním systémem pomocí ovladače pro MODBUS RTU. Je propojen s vnitřní sítí přes převodník MODBUS/Ethernet prostřednictvím průmyslové sběrnice RS-485.

2.1.7 Profouknutí membrány

Membrána musí být zvlhčována, jak již bylo zmíněno výše. Postupem času se na membráně však začnou usazovat kapky vody, což má za následek snížení účinnosti palivového článku. Z tohoto důvodu je při nenadálém poklesu účinnosti (proudu) palivového článku nutno pomocí říditelných ventilů, vpustit do palivového článku na membránu vzduch a tím odstranit usazené kapky vody. V instalaci ovšem není možné získat informaci o proud na jednotlivých palivových článcích. K tomu slouží výše zmiňovaná CVM jednotka, která není propojena s řídicím systémem.

2.2 Řídicí systém

Řídicí systém energetického centra ENET má distribuovanou hierarchickou strukturu. To znamená, že na místo jednoho řídicího počítače je řízení celého centra rozděleno mezi více programovatelných logických automatů (dále už jen PLC), které jsou ethernetovou sítí propojené

s nadřazeným PLC. Toto PLC je napojené na server, na němž běží OPC server, k němuž je následně připojen vizualizační systém.

PLC jednotlivých technologií se nacházejí v řídicí místnosti v rozvodných skříních, kde je umístěn i switch a server s diskovým polem. Společně s těmito hlavními zařízeními se v rozvodných skříních nalézají i dva převodníky z rozhraní Profibus na rozhraní RS485 a minipočítač ARK 1123 pro řízení fotovoltaických panelů, jež jsou umístěny na střeše budovy. Minipočítač ovládá natáčení panelů a monitoruje výkon, jež dodávají.

Označení jednotlivých PLC je souhlasné s názvy, jež jsou uloženy v programu. Spojitost jednotlivých technologií s názvy PLC jsou popsány pomocí tabulky 1.

Tabulka 1 - Označení PLC a dané technologie

Označení PLC	Označení technologie	Zjednodušené značení
FoPC412H	Fotovoltaika a palivové články	PS60 a PS70
AkTe412H	Tepelné procesy akumulace	PS80
KoPI412H	Konvertor syntézních plynů	PS20
Anal412H	Katalytický reaktor	PS30
Pyro412H	Pyrolýzní systém	PS10
ObTe412H	Obslužná technologie	PS40
Rozv414H	Akumulace a výroba elektrické energie (rozvodna)	PS90

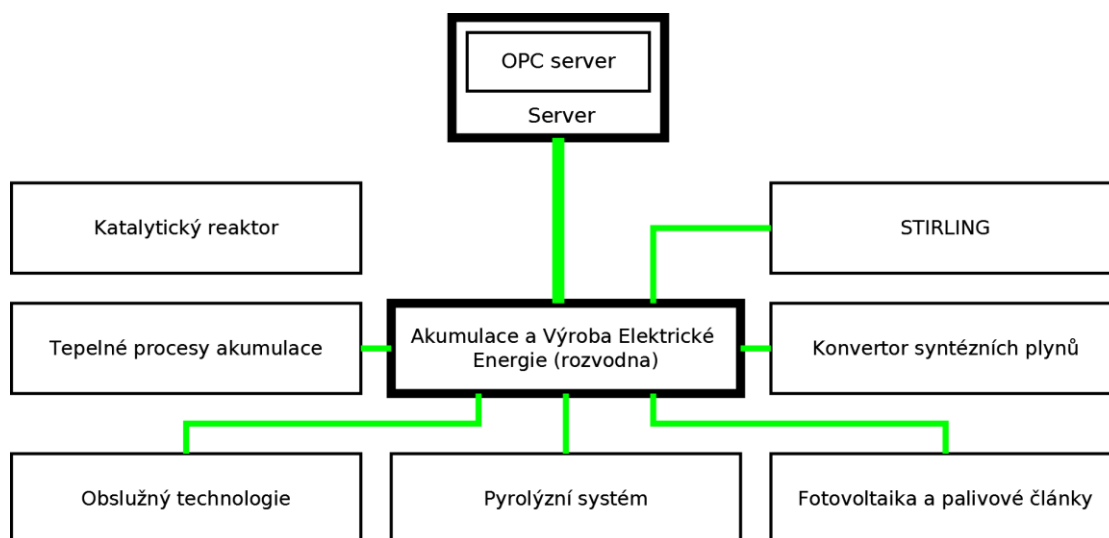
Pro laboratoř palivových článků je nejdůležitější PLC s označením FoPc412H. Jedná se o zapojení dvou PLC, které by měly být zapojeny redundantně. Redundance je umožněna daným typem procesoru jednotlivých PLC (412-5H) a způsobem propojení. Z důsledku špatného zapojení ovšem tyto dvě PLC redundantně nepracují. To znamená, že nedochází k duplikaci programu pro případ poruchy prvního modulu. Napájení obou procesorů obstarává napájecí zdroj na 5 až 24 V s proudovým odběrem v rozsahu 1 až 10 A. Na tomto PLC jsou napojeny dva komunikační okruhy pomocí sběrnice Profibus, jež spojuje vzdálené moduly s výrobním označením Simatic ET200S s PLC FoPC412H.

[3] [11] [12]

2.3 Struktura řídicího systému

Jak již bylo zmíněno výše, struktura řídicího systému centra ENET je distribuovaná a hierarchická. Z analýzy datového propojení v programech z jednotlivých PLC vyplývá, že komunikaci mezi PLC zajišťuje protokol S7. Komunikace probíhá zasíláním databloků pomocí funkcí BSEND a BRCV. PLC s označeními – *Pyrolýzní systém*, *Obslužná technologie*, *Konvertor syntézních plynů*, *Fotovoltaika a palivové články*, *Tepelné procesy a akumulace* jsou propojeny s nadřazeným PLC označeným *Akumulace a Výroba Elektrické Energie (rozvodna)*. Toto PLC je následně napojené na OPC serverem, který běží na fyzickém serveru centra ENET. PLC pro technologii Katalytického

reaktoru v současné době není použita ani připojena k řídicímu systému. Celá struktura propojení jednotlivých technologií je vyobrazena na obrázku 8, jejichž adresy jsou vypsány v tabulce 2.



Obrázek 8 – Schéma distribuované hierarchické struktury řídicího systému

Tabulka 2 – Adresy PLC daných technologií řídicího systému

Označení technologie	Adresa
Fotovoltaika a palivové články	10.0.20.20 a 10.0.20.21
Tepelné procesy akumulace	10.0.20.22 a 10.0.20.23
Konvertor syntéznych plynů	10.0.20.16 a 10.0.20.17
Katalytický reaktor	10.0.20.2
Pyrolýzní systém	10.0.20.12 a 10.0.20.13
Obslužná technologie	10.0.20.14 a 10.0.20.15
Akumulace a výroba elektrické energie (rozvodna)	10.0.20.24 a 10.0.20.25
Stirling	10.0.20.26
OPC server	10.0.20.100

2.3.1 OPC server

OPC (neboli OLE for process control) je označení pro komunikační protokol, který vytváří společně komunikační rozhraní mezi hardwarovými a softwarovými prostředky průmyslové automatizace.

OPC server není žádný fyzický server. Jak jsem již zmínil výše, jedná se pouze o softwarový program, který je nainstalovaný na fyzickém serveru. Tento program zajišťuje komunikaci s nadřazeným řídicím a vizualizačním systémem, tzn., že čte data z nadřazeného PLC, které následně zprostředkovává ve formátu OPC vizualizaci.

[2]

2.3.2 S7 protokol

Komunikační protokol S7 (tabulka 3) vytvořený společností Siemens je určený pro komunikaci mezi PLC založená na ISO-TCP (RFC1006). Dle samotného návrhu tohoto protokolu vyplývá, že je blokově orientován. Každý blok, jež je pojmenován PDU (Protocol Data Unit), je omezen maximální možnou délkou v závislosti na typu PLC. Tento protokol je taktéž orientován na funkce nebo příkazy, tzn., že každý přenos obsahuje odpověď nebo příkaz. Jestliže velikost odpovědi, nebo příkazu, je větší než je maximální délka PDU, tak je rozdělen na větší množství bloků.

[13]

Tabulka 3 - Porovnání ISO/OSI modelu s protokolem S7

ISO/OSI model	Protocol
Aplikační vrstva	Komunikace S7
Prezentační vrstva	Komunikace S7
Relační vrstva	Komunikace S7
Transportní vrstva	ISO-on-TCP
Síťová vrstva	IP
Linková vrstva	Ethernet
Fyzická vrstva	Ethernet

Komunikační bloky BSEND a BRCV slouží pro zasílání a přijímání dat mezi PLC přes S7 protokol. Pro komunikaci využívá procesorů z řad S7-300 a S7-400. Tyto bloky jsou v našem případě použity pro komunikaci PLC jednotlivých technologií s nadřazeným PLC Rozvodna. Jednotlivá PLC, včetně nadřazeného PLC, zasílají či přijímají bloky dat. Maximální délka zaslaných dat v celku je 65534 bytů pro S7-400.

[13]

2.4 Vizualizační systém

V této části nebudu popisovat vizualizační systém z pohledu funkčnosti jednotlivých komponent, ale spíš z hlediska propojení s ostatními systémy.

Vizualizační systém, neboli zkráceně vizualizace, se skládá z dvou základních částí: serverová část vizualizace a klientská část vizualizace. Jedná se tedy o síťovou architekturu server-klient, jež rozděluje klientskou a serverovou část. Tyto dvě části spolu přes počítačovou síť komunikují.

[16]

Serverová část zprostředkovává komunikaci mezi OPC serverem a klientskou částí vizualizace, jež běží na vícero počítačích centra ENET, a také zajišťuje komunikaci s měničem U50 pro palivové články pomocí ovladače pro komunikační protokol MODBUS.

3 Diagnostika a odstranění chyb provozu

Tato kapitola úzce souvisí s analýzou, na základě níž je prováděna diagnostika problémových míst v komunikaci mezi jednotlivými systémy a chyb provozu. Nedílnou součástí je jejich odstranění popřípadě návrh možných řešení odstranění. Jedním z možných řešení odstranění problémových míst v komunikaci je i optimalizace datových toků.

3.1 Zpoždění komunikace

Základním problémem provozu laboratoře palivových článků je zpoždění reakce na řídicí povel zaslaný z vizualizačního systému a obecně na načtení jakékoliv hodnoty z PLC. Toto zpoždění vzniká kvůli třem příčinám.

První příčinou vzniku zpoždění je samotná architektura řídicího systému. Klíčovým bodem celé komunikace mezi jednotlivými PLC pro danou technologii je nadřazené PLC (dále jen NŘS – nadřazený řídicí systém) označené jako Akumulace a výroba elektrické energie (rozvodna). Tomuto PLC jsou pomocí komunikačních bloků BSEND a BRCV, viz výše, zasílány databloky z relativně velkým množstvím dat. Následně tyto data poskytuje NŘS OPC serveru. Celkové množství dat z jednotlivých technologií dosahuje velikosti až 27 kB, viz tabulka 4, přitom velká část z těchto zasílaných a přijímaných dat je nepoužitých a slouží spíše jako rezervy. Z důvodu omezení velikosti dat použitých v blocích BSEND a BRCV, je zasílání a přijímání rozděleno na několik částí. Samotná komunikace je asynchronní, ale i tak může odesílání jednoho datového bloku trvat několik programových cyklů PLC. Jednotlivé databloky jsou odesílány se zpožděním 400 ms směrem k NŘS a 400 ms opačným směrem dle programu v PLC.

Další příčinou zpoždění je velké množství nevyužitých signálů a proměnných v datových blocích.

Tabulka 4 - Množství dat, které jsou přijímány a vysílány NŘS

Název databloku	Číslo databloku v NŘS	Hodnota dat	Směr
		[B]	
Vst_Hod_PS10	110	1554	PS10 -> OPC
PS10_ParametryPom	115	944	PS10 -> OPC
Alarmy_PS10	112	52	PS10 -> OPC
PS10_PovelyPom	116	552	PS10 -> OPC
Parametry_PS10_zap	111	944	OPC -> PS10
Alarmy_PS10_ACK	114	52	OPC -> PS10
Povely_PS10_zap	113	552	OPC -> PS10
Vst_Hod_PS20	120	1554	PS20 -> OPC
PS20_ParametryPom	125	944	PS20 -> OPC

Alarmy_PS20	122	52	PS20 -> OPC
PS20_PovelyPom	126	552	PS20 -> OPC
Parametry_PS20_zap	121	944	OPC -> PS20
Alarmy_PS20_ACK	124	52	OPC -> PS20
Povely_PS20_zap	123	552	OPC -> PS20
Vst_Hod_PS40	140	1554	PS40 -> OPC
PS40_ParametryPom	145	944	PS40 -> OPC
Alarmy_PS40	142	52	PS40 -> OPC
PS40_PovelyPom	146	552	PS40 -> OPC
Parametry_PS40_zap	141	944	OPC -> PS40
Alarmy_PS40_ACK	144	52	OPC -> PS40
Povely_PS40_zap	143	552	OPC -> PS40
Vst_Hod_PS60_70	160	1554	PS60 a 70 -> OPC
PS60_70_ParametryPom	165	944	PS60 a 70 -> OPC
Alarmy_PS60_70	162	52	PS60 a 70 -> OPC
PS60_70_PovelyPom	166	552	PS60 a 70 -> OPC
Parametry_PS60_70_zap	161	944	OPC -> PS60 a 70
Alarmy_PS60_70_ACK	164	52	OPC -> PS60 a 70
Povely_PS60_70_zap	163	552	OPC -> PS60 a 70
Vst_Hod_PS80	180	1554	PS80 -> OPC
PS80_ParametryPom	185	944	PS80 -> OPC
Alarmy_PS80	182	52	PS80 -> OPC
PS80_PovelyPom	186	552	PS80 -> OPC
Parametry_PS80_zap	181	944	OPC -> PS80
Alarmy_PS80_ACK	184	52	OPC -> PS80
Povely_PS80_zap	183	552	OPC -> PS80
Vst_Hod_PS90	190	2000	PS90 -> OPC
-	195	944	PS90 -> OPC
Alarmy_PS90	192	52	PS90 -> OPC
-	196	552	PS90 -> OPC

Parametry_PS90_zap	191	944	OPC -> PS90
-	194	52	OPC -> PS90
Povely_PS90_zap	193	552	OPC -> PS90
Celkově	-	26798	-

Posledním aspektem zpoždění je samotná vizualizace. Vizualizace je vytvořená v prostředí ControlWeb, které není určeno pro tak velké množství dat a rozsah v jakém je používáno. Využívá velké množství časovačů, které způsobují nejen prodloužení odezvy řídicího povelu, ale dokonce i nezaslání povelu či pád celé aplikace.

[23]

3.1.1 Měření zpoždění

Pro ověření míst struktury, kde vzniká zpoždění, byla vytvořena v prostředí vizualizačního systému pro řízení technologických procesů Promotic aplikace, díky níž lze vidět, jak přibližně je velké zpoždění v jednotlivých místech komunikační struktury. Tato místa jsou samotné PLC pro laboratoř palivových článků, nadřazené PLC a OPC server.

Pomocí komunikačního objektu *PmS7* se vytvořilo propojení s PLC určeným pro laboratoř palivových článků a nadřazeným PLC. Konfigurace se skládá se zadání síťové adresy PLC, obnovovací periody komunikace v ms, čísla Racku PLC (krytu, který napájí jednotlivé moduly) a čísla slotu, na kterém se nachází modul s procesorem (viz obrázek 9).

[22]

Obrázek 9 - Ukázka konfigurace S7 komunikace s PLC pro vodíkovou laboratoř

Poslední důležitým prvkem struktury je OPC server, se kterým komunikuje vizualizace. Komunikační objekt s názvem *PmOPCClient* zajišťuje spojení s OPC serverem. Jediné jeho nastavení je zadání správného identifikačního textu OPC serveru.

[22]

Po nastavení jednotlivých komunikačních objektů byla vybrána v databloku *Vst_Hod_PS60_70* hodnota tlakového čidla s označením *PIT101*, jejíž časová hodnota odezvy se odečítala z informačního systému aplikace Promotic. V programu PLC byla měněna hodnota tohoto prvku a sledovalo se, kdy se změní v nadřazeném systému a na OPC serveru. Změna hodnoty v nadřazeném systému se

aktualizovala v některých případech měření i po dvou vteřinách a na OPC serveru po další vteřině navíc. Z důsledku problémů se současnou vizualizací nebylo možné správně odečíst časovou změnu vybraného prvku.

V případě opačného směru, tzn. směru k PLC určeným pro laboratoř palivových článků, se po zadání povelu z OPC serveru aktualizovala změna povelu v nadřazeném PLC po uplynutí jedné vteřiny. Ovšem je nutno brát v potaz, že se jednalo pouze o zadávání hodnoty z OPC serveru, nikoliv z vizualizace.

3.2 Řízení měniče z vizualizace

Vizualizace způsobuje i další problém z hlediska provozu laboratoře a to proto, že obchází řídicí systém a sama řídí měnič, který je určený pro palivové články. Zasílá povely a žádanou hodnotu přímo do měniče, bez vědomí řídicího systému, což je z hlediska řízení zcela špatné. Řídicí povely by měl výlučně zpracovávat řídicí systém, nikoliv vizualizace.

3.3 Chybějící zapojení CVM

CVM (popsaný výše) je nedílnou součástí provozu palivových článků. Bez něj totiž není možné měřit proud na jednotlivých palivových člancích. Z důvodu chybějící instalace tohoto monitorovacího zařízení lze však pouze odečítat hodnotu napětí z měniče U50 na všech člancích dohromady.

3.4 Odstranění zpoždění

Možností odstranění zpoždění je několik. Jedním možným řešením je změna konstrukce a struktury komunikace mezi jednotlivými částmi řídicího systému. Toto řešení je ovšem náročné na přeprogramování veškerých PLC. Lepším řešením je optimalizace řídicího systému a minimalizace jednotlivých datových bloků, o čemž se pojednává v kapitole níže, neboť je to samostatným bodem této diplomové práce.

Jak již bylo zmíněno výše, tak nejen struktura, ale i vizualizace je problémovým aspektem z hlediska provozu laboratoře palivových článků. Proto je nezbytné vytvořit novou vizualizaci, která nebude využívat velkého množství časovačů. Struktura nově vytvořené vizualizace by byla stejná, jakožto je u nynější. Bude rozdělena na dvě části a to na: část klientskou, uživatelskou, a část serverovou.

3.5 Propojení měniče s řídicím systémem

Vizualizace by neměla nic řídit, ale pouze být uživatelským rozhraním, kterým operátor (uživatel) zasílá povely do řídicího systému, který na daný povel (požadavek) zareaguje patřičnou akcí. Řízení měniče s označením U50, proto musí být předáno řídicímu systému, nikoliv vizualizaci. Z toho důvodu bylo nutností propojit měnič s řídicí jednotkou. Měnič komunikuje pomocí protokolu Modbus v režimu RTU. S řídicím PLC určeným pro technologii palivových článků byl tedy propojen pomocí převodníku Profibus/Modbus Master společnosti Adfweb. Na základě informací o konfiguraci měniče se prostředím Compositor SW67561 stejnojmenné společnosti nastavil převodník (viz obrázek 10). Měnič komunikuje pomocí sériové sběrnice RS485 rychlostí 9600 baudů bez využití

paritních bytů, nesoucích informaci po počtu bitů s hodnotou 1 v daném slovi; s jedním stop bitem; časovou odezvou 2000 ms; zpožděním cyklu 100 ms a v režimu Modbus RTU.

[17]

Na základě volných adres na sběrnici Profibus bylo převodníku nastaveno ID zařízení na hodnotu 5. Dle informací o měniči U50 do PLC bude vstupovat 38 bytů dat reprezentujících hodnoty měřených veličin a stavů měniče, což je v nastavení reprezentováno hodnotou N Byte IN. Hodnota N Byte OUT značí množství dat, které tvoří řídicí povely.

Obrázek 10 - Nastavení převodníku Profibus/Modbus

V záložce Set Access bylo nutno říci převodníku, které data budou čteny a zapisovány. Zapisované data do PLC se nastavují v první záložce (Profibus IN -> Seriál Read). Jedná se o 19 datových registrů s přehozeným bitovým pořadím začínajících adresou 0, které lze číst z měniče, jehož ID je 50. V druhé záložce jsem poté nastavil zasílané povely z PLC do měniče. Tyto povely jsou obsaženy ve dvou datových registrech s počáteční adresou 19 opět s přehozeným pořadím bitů.

Následně kolega programující PLC určené pro laboratoř palivových článků převzal vygenerovaný GSD soubor převodníku, který zaimplementoval v programu PLC.

3.6 Propojení CVM k řídicímu systému

Z hlediska provozu a diagnostiky správné funkčnosti jednotlivých článků bylo nutné propojit jednotku CVM s řídicím systémem. Tato jednotka využívá ke komunikaci rozhraní CAN (Controller Area Network) se svým vlastním protokolem, který pracuje stejně jako protokol CANOpen. Ten

využívá pro zasílání dat a přijímání povelů využívá tzv. CAN zpráv, jež jsou složeny s 11 bitového či 29 bitového identifikátoru zprávy v kombinaci s identifikačním číslem (dále jen ID) zařízení na sběrnici, ke kterému se daná zpráva či povel vztahuje.

K propojení CVM jednotek všech palivových článků s PLC se využilo převodníku CAN/Profibus s označením HD67552 opět od společnosti adfweb. Jak již bylo zmíněno výše. Jednotlivé zprávy se odlišují identifikačním číslem funkce a ID zařízení. Z toho důvodu před samotným propojením a nastavení převodníku pro všechny palivové články dohromady došlo k nastavení identifikátoru jednotlivých jednotek CVM. K tomu se použil samotný převodník s příslušným programem Compositor SW67552.

Nejprve se nastavila samotná komunikace (viz obrázek 11). CVM jednotka komunikuje rychlostí 500 kbps přes sběrnici typu CAN 2.0A (ID zprávy tvoří 11 bitové číslo). Periodu zasílání dat byla nastavena na hodnotu 200 ms s časovým limitem 10 sekund. Dle dostupných adres na sběrnici Profibus se převodníku nastavilo ID na 8.

The image shows a configuration window for CAN/Profibus communication. It is divided into two main sections: CAN and PROFIBUS. In the CAN section, the Baud rate is set to 500K. Under CAN Type, 'CAN Bus 2.0A (CobID 11Bit)' is selected. For Send Data, 'Send Data Every' is chosen with a value of 200 ms. The TimeOut Data is set to 10 s. In the PROFIBUS section, the ID Dev. is set to 8, and the Baud rate is set to Auto Baudrate. A checkbox labeled 'Create GDS file from CAN Mapping' is checked. At the bottom, there are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Obrázek 11 - Nastavení převodníku CAN/Profibus

Posléze se v záložce *Send Frames* nastavilo, jak má vypadat zasílaná konfigurační zpráva, která nastaví požadované ID zařízení. Tato zpráva má identifikátor (ID) 000h a velikost 2 byty. Pomocí vytvořeného GSD souboru byl převodník přidán do konfigurace PLC, kde se mu sestavilo datové pole zprávy. První byte označuje bližší identifikátor funkce, který má mít hodnotu 10 v šestnáctkové soustavě a ten druhý značí nově nastavované ID zařízení, jež se nachází v rozsahu hodnot od 1 do 127. Postupně jsme s kolegou programující PLC připojovali jednu CVM jednotku za druhou, aby jim byla nastaveno ID na hodnotu 1 až 5 dle označení palivového článku.

Posledním krokem propojení bylo nastavení zpráv. Přesněji se tedy jedná o konfiguraci zpráv, jež jsou zasílané a přijímané PLC. Jedná se o nastavení rámců v záložkách *Send Frames* (zaslané rámce) a *Recieve Frames* (přijaté rámce). Podle nastavení samotné CVM jednotky je možné přijímat několik různých typů zpráv. V základním nastavení nás ovšem zajímají hlavně informace o napětí a stavu článků, které je možno vyčíst pomocí funkce s ID 180 a 580. V následující tabulce jsou popsány veškeré přijímané rámce.

Tabulka 5 - Přijímané rámce

Identifikátor	Velikost	Popis
181h	8	Informace o napětí na PČ1
182h	8	Informace o napětí na PČ2
183h	8	Informace o napětí na PČ3
184h	8	Informace o napětí na PČ4
185h	8	Informace o napětí na PČ5
581h	8	Informace o chybovém stavu PČ1
582h	8	Informace o chybovém stavu PČ2
583h	8	Informace o chybovém stavu PČ3
584h	8	Informace o chybovém stavu PČ4
585h	8	Informace o chybovém stavu PČ5

Ke konfiguraci jednotlivých zpráv a také vlastní komunikace jednotek slouží funkce s ID 600. Pomocí této funkce je možné se dotázat na různé informace týkající se palivových článků, z toho důvodu byly tyto rámce zakomponovány v nastavení převodníku (tabulka 6). Nakonec pomocí vygenerovaného GSD souboru, nesoucí informace o převodníku včetně jeho nastavení, byl tento převodník zakomponován do HW konfigurace programovatelného automatu.

Tabulka 6 - Zasílané rámce

Identifikátor	Velikost	Popis
601h	8	Konfigurační a dotazovací rámec pro PČ1
602h	8	Konfigurační a dotazovací rámec pro PČ1
603h	8	Konfigurační a dotazovací rámec pro PČ1
604h	8	Konfigurační a dotazovací rámec pro PČ1
605h	8	Konfigurační a dotazovací rámec pro PČ1

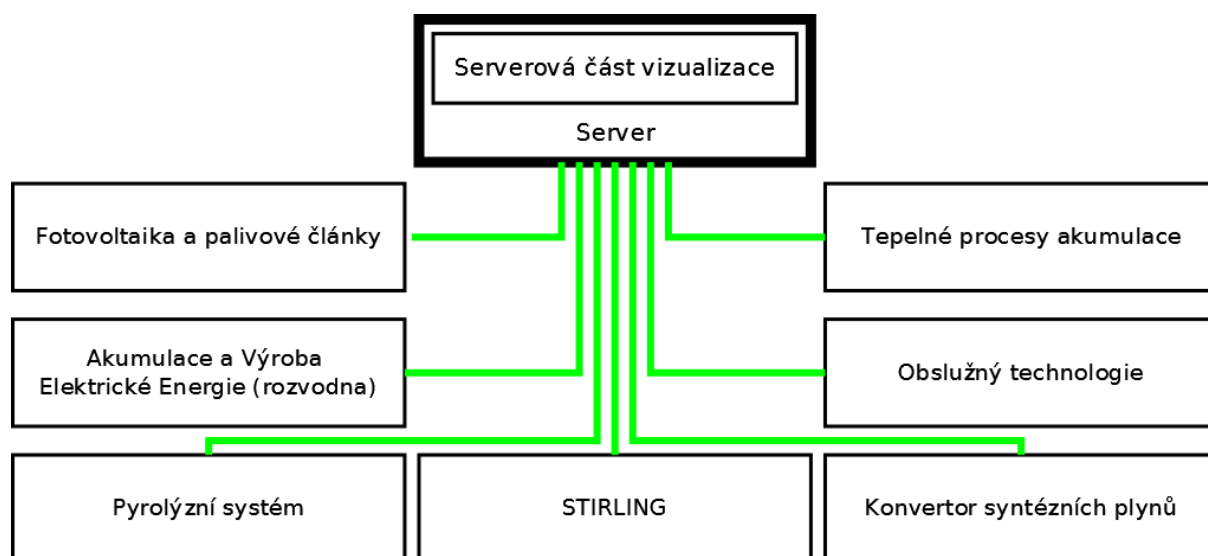
4 Návrh optimalizace provozu laboratoře palivových článků

Návrh optimalizace provozu laboratoře palivových článků ve vztahu k řídicímu systému je kapitolou, která úzce souvisí s diagnostikou a odstraněním chyb provozu (viz výše). Samotný návrh spočívá v optimalizaci datových toků mezi jednotlivými systémy tak, aby systém dosáhl, co nejkratší reakce na zadaný povel.

4.1 Změna komunikační struktury

Kritickým místem komunikace je nadřazený řídicí systém, který mimo svou běžnou činnost zasílá veškerá data získána s podružných PLC na OPC server, na nějž je napojena serverová vizualizace (viz obrázek 8). Tato struktura společně s dalšími aspekty způsobuje zpoždění.

Jedna část návrhu optimalizace spočívá v odstranění nadřazeného řídicího systému z komunikační struktury. Což vede k tomu, že nebude řešit operace spjaté s komunikací, neboť dat, které musí zpracovat je příliš. Jinak řečeno nebude se zbytečně věnovat operacím komunikačním mezi PLC a OPC serverem, namísto, aby procesorový čas využíval na operace související s akumulací a rozvodem energie. Z nadřazeného řídicího systému se stane obyčejný řídicí systém pro danou technologii. Nová komunikační struktura je vyobrazena na obrázku 12.



Obrázek 12 - Návrh změny komunikační struktury

Datové bloky jednotlivých PLC (tím jsou myšleny i datové bloky PLC pro akumulaci a výrobu elektrické energie) budou pomocí S7 protokolu napojené přímo na serverovou část vizualizace, jež běží na serveru. Napojení databloků lze provést pomocí různých ovladačů, které v dnešní době bývají součástí vizualizačních systémů (například Promotic, obsahuje objekt PmS7, kterým se lze elegantně napojit na danou tabulku). Tímto způsobem se přesune nadřazený řídicí systém na úroveň technologického PLC, které bude vykonávat pouze technologické operace. Díky tomuto návrhu nové struktury, bude se namísto hierarchické distribuované struktury vytvořena pouze distribuovaná struktura řízení.

[10] [22]

4.2 Minimalizace zasílaných a přijímaných dat

Dalším způsobem zrychlení komunikace, a tím i optimalizace provozu laboratoře palivových článků, je minimalizace jednotlivých datových bloků, které budou zasílány do serverové části vizualizace. Jak již bylo zmíněno v kapitole zabývající se odstraněním chyb provozu, tak jednotlivé zasílané datové bloky byli zbytečně velké a to z důvodu velkého množství nadbytečných rezerv, jež obsahovaly. V rámci dalšího návrhu optimalizace bude serverová část vizualizace získávat pouze potřebná data bez zbytečně zasílaných nepoužitých rezerv.

Pro provoz laboratoře palivových článků jsou důležitá dvě PLC. A to jsou PLC s označením PS60_70 a PS80, neboli PLC pro technologii fotovoltaiku a palivových článků a PLC pro tepelné procesy. Tyto dvě PLC zasílaly dohromady na OPC server 6102 B dat a přijímaly 3096 B (viz tabulka 4). Po odstranění chyb provozu přibyli data k CVM jednotkám a měniči. Ovšem po důkladnější analýze používaných a nepoužívaných dat všech databloků obou PLC je zapotřebí pouze daleko menší množství dat, jež se nacházejí v šesti datových blocích. Množství dat těchto datových bloků popisuje tabulka níže s číslem 7.

Tabulka 7 - Množství potřebných dat pro provoz laboratoře

Název tabulky	Popis	Množství dat [B]
Ps60_70_hodnoty	Hodnoty a stavy laboratoře palivových článků	577
Ps60_70_parametry	Parametry laboratoře palivových článků	900
Ps60_70_poruchy	Indikace poruch laboratoře palivových článků	26
Ps60_70_povely	Povely pro laboratoř palivových článků	64
Ps80_hodnoty	Hodnoty a stavy chladicí soustavy	216
Ps80_povely	Povely pro chladicí soustavu	68

Celková optimalizace datových toků je složena ze dvou částí. Jednou z částí je výše navržená změna struktury, díky níž může řídicí systém rychleji reagovat na povel zaslaný z vizualizace, a tou druhou minimalizace množství zasílaných dat. Oba návrhy byli v rámci práce mé i kolegů realizovány a uvedeny do provozu. PLC určené pro provoz laboratoře byla propojena přímo se serverovou částí vizualizace. Přesněji řečeno datové bloky obou PLC byly zakomponovány do serverové části vizualizace pomocí výše zmíněného objektu PmS7 a jejich velikost byla minimalizována.

5 Návrh diagnostického nástroje pro analýzu dat

Tato kapitola se zabývá návrhem diagnostického prostředku, pomocí něhož lze dlouhodobě sledovat změny důležitých parametrů a hodnot provozu. Před samotným návrhem je ovšem důležité specifikovat, co to je diagnostický prostředek. Z toho důvodu je součástí této kapitoly i stručná teorie týkající se diagnostických systémů.

5.1 Diagnostické prostředky

Diagnostickými prostředky se rozumí technická zařízení, softwarové prostředky či pracovní postupy, které vedou k analýze diagnostikovaného objektu. Tyto prostředky se dělí na: vnější a vnitřní diagnostické prostředky. Označení vnějších diagnostických prostředků nesou zařízení či postupy, které jsou zcela odděleny od diagnostikovaného objektu. Naopak vnitřní diagnostické prostředky jsou přímou jeho přímou součástí.

[5][18][19]

5.1.1 Diagnostický systém

Diagnostický systém je soubor diagnostických prostředků, diagnostických objektů a obsluhy. Dělí se na dva základní typy, kterými jsou tzv. ON-LINE a OFF-Line diagnostické systémy.

[5] [18][19]

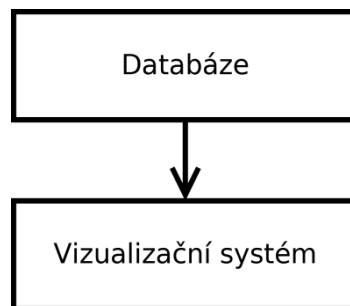
ON-LINE systémy posuzují stav objektu při jeho chodu (provozu). Tyto systémy nijak nenarušují pracovní činnost objektů. Typickým příkladem tohoto typu systémů jsou monitorovací systém, který neustále sleduje technický stav objektu, přičemž jsou průběžně vyhodnocovány mezní stav, při nichž je nutné objekt odstavit. Naproti tomu OFF-LINE diagnostické systémy posuzují stav objektu pomocí diagnostických testů, kdy je objekt odstaven z provozu.

[18][19]

5.2 Návrh diagnostického nástroje

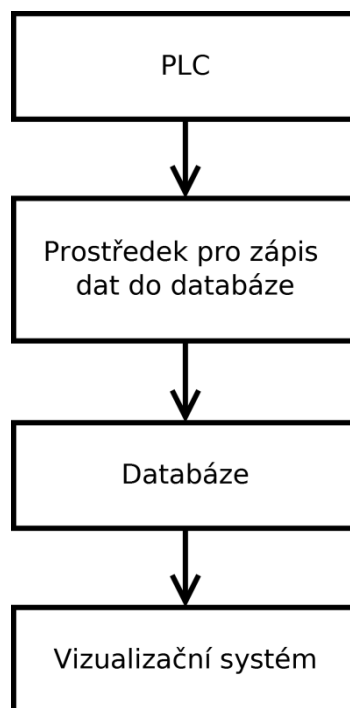
Laboratoř palivových článků je vybavena některými diagnostickými prostředky, jimiž jsou například veškerá čidla, která zasílají údaje o dané veličině či stavu do PLC. Dalším prostředkem je samotné PLC, které následně tyto data zasílá do vizualizace, kde dochází k jejich grafické reprezentaci. I samotná vizualizace je tedy diagnostickým prostředkem.

Po domluvě s vedoucím této diplomové práce a tvůrci laboratoře palivových článků byl navržen diagnostický nástroj pro analýzu dat s využitím databáze a monitorovacího systému. Vizualizace byt' je sama o sobě diagnostickým prostředkem, jak jsem již zmínil výše, tak vyobrazuje pouze aktuální hodnoty. Z toho důvodu návrhem je nástroj, který bude graficky zobrazovat dlouhodobé změny systému. Nejjednodušší vyobrazení návrhu je na obrázku 13. Navržený diagnostický prostředek bude využívat data z databáze, která budou následně graficky znázorněna ve vizualizačním systému v podobě grafů.



Obrázek 13 - Návrh diagnostického nástroje

Provoz laboratoře a celý řídicí systém laboratoře palivových článků využívá velké množství komponent a softwarových prostředků. Specifikace návrhu tedy úzce souvisí s použitými prostředky a jejími propojení s navrženým diagnostickým nástrojem. Jinými slovy je nutno zakomponovat návrh s ohledem na stávající prostředky a propojit jej se systémem. Aby bylo možné vůbec vyobrazovat nějaké hodnoty z hlediska dlouhodobého monitorování, je důležité plnit databázi daty z PLC. Proto nedílnou součástí návrhu je prostředek pro zápis dat do databáze.



Obrázek 14 - Zakomponování návrhu do systému laboratoře

5.2.1 Výběr vizualizačního systému

Jakožto vizualizační systém byla vybrána Grafana, analytická platforma pro monitorování a vizualizaci dat pomocí grafů. Grafana umožňuje vyobrazovat data v časovém sledu, což je zcela ideální z hlediska dlouhodobého sledování a diagnostiky pro účely tohoto návrhu. V současné době s poslední verzí 4.6.3 podporuje Grafana tyto databázové systémy jako zdroje dat:

- Graphite
- Elasticsearch
- CloudWatch

- InfluxDB
- OpenTSDB
- Prometheus
- MySQL
- PostgreSQL

[24]

5.2.2 Výběr databázového systému

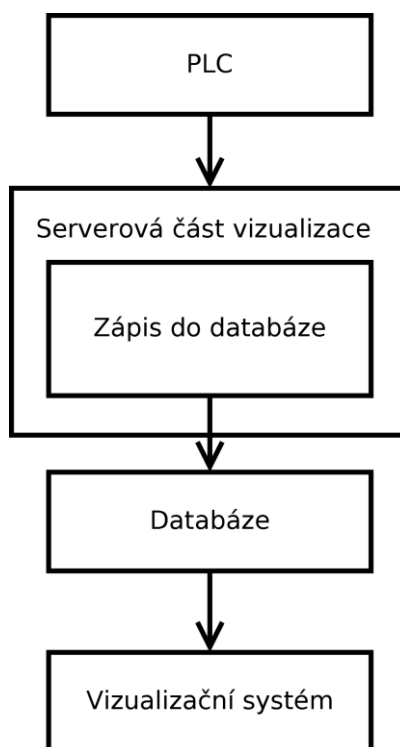
Databáze v současném stavu je vytvořena v objektově-relačním databázovém systému PostgreSQL, což je systém s otevřeným zdrojovým kódem (anglicky open source). Struktura této databáze je velmi specificky navržena s velkým množstvím relačních spojů a tabulek ovšem nikdy do ní nebyli zapisovány jakékoliv data, jinak řečeno je prázdná. To je dáno absencí jakéhokoliv prostředku či softwarů, který by zapisoval hodnoty z OPC serveru do databáze.

Jako databázový systém byl zvolen MySQL, jelikož je snadno dostupný pro Windows Server, je podporovaný systémem Grafana a mám s ním zkušenosti.

[24]

5.2.3 Výběr prostředku pro zápis dat do databáze

Možností zápisu dat do databáze je mnoho, jedná se buďto o placené programy nebo programy s nízkou možností použití. K účelu zápisu se využije, již použitý program a to samostatný vizualizační systém Promotic, ve které je vytvořena nová serverová i klientská část vizualizace. Přesněji tedy se použije serverová část (obrázek 15), která je přímo napojená na databloky v PLC. Neboť Promotic umožňuje práci s databázovými systémy MySQL.



Obrázek 15 - Využití serverové části vizualizace

6 Realizace diagnostického nástroje

V návaznosti na navržený diagnostický prostředek, se tato kapitola zabývá realizací navrženého diagnostického nástroje od nastavení samostatné databáze až po tvorbu grafů v monitorovacím systému Grafana. Nedílnou součástí je i popis tvorby tabulek, popis algoritmů pro zápis dat do databáze a nastavení Grafany.

6.1 Tvorba databázových tabulek

V první fázi realizace bylo nutné nejprve nainstalovat databázový systém na server a spustit jej tak, aby neustále běžel na pozadí. Pomocí prostředí MySQL Workbench se provedla samotná databáze, viz obrázek 16. Samotné nastavení spočívá v konfiguraci názvu databázového spojení, metody připojení, síťové adresy serveru, síťového portu a uživatele. Pro otestování připojení slouží tlačítko „Test Connection“, po jehož stisku je požadováno heslo uživatele. Uživatel musí mít vytvořený účet přímo na serveru.

The screenshot shows the 'New Connection' dialog in MySQL Workbench. The 'Connection Name' field contains 'Database'. The 'Connection Method' is set to 'Standard (TCP/IP)'. Under the 'Parameters' tab, the 'Hostname' is '10.0.20.100', 'Port' is '3306', 'Username' is 'enet', and 'Password' is empty with 'Store in Vault' and 'Clear' buttons. The 'Default Schema' field is empty. At the bottom are buttons for 'Configure Server Management...', 'Test Connection', 'Cancel', and 'OK'.

Obrázek 16 - Konfigurace databázového spojení

Strukturu databázových tabulek byla vytvořena s ohledem na nově vytvořené datové napojení pomocí S7 protokolu se serverovou částí vizualizace. To znamená, že vytvořené databázové tabulky jsou shodné s tabulkami serverové části vizualizace, které jsou napojené na datové bloky v řídicím systému. Tvorbu tabulek databáze jsem udělal pomocí příkazů *CREATE TABLE* SQL jazyka.

Syntaxe pro vytvoření je následující. Za příkazem *CREATE TABLE* se nachází název tabulky popřípadě název databáze a tabulky. Poté je nutno uvést názvy jednotlivých sloupců s datovým typem v kulatých závorkách. Před ukončením závorek je nutno uvést, který prvek bude primárním klíčem. Nakonec celého příkazu je vhodné zadat typ ukládacího algoritmu. Existuje několik typů, které se liší

hlavně maximální možnou velikostí tabulky. V případě InnoDB je maximální ukládací prostor pro tabulky velký 64TB.

[15]

Ukázka vytvoření tabulky pro hodnoty technologie palivových článků:

```
CREATE TABLE `database`.`ps60_70_hodnoty` (  
timestamp TIMESTAMP NOT NULL,  
cp101 REAL,  
...,  
...,  
PRIMARY KEY (`timestamp`))  
ENGINE = InnoDB;
```

[1]

Celkově se tak v databázi vytvořilo šest tabulek. Pro laboratoř palivových článků (PLC FoPa) to jsou tabulky s hodnotami a stavy, s povely, s parametry a poruchami. Dvě tabulky jsou z PLC pro Tepelné procesy akumulace a týkají se informací o chlazení, tedy přesněji řečeno informacemi chladicí soustavy. Jsou to opět hodnoty a povely.

Tabulka 8 - Seznam databázových tabulek s počtem sloupců

Název tabulky	Popis	Počet sloupců
Ps60_70_hodnoty	Hodnoty a stavy laboratoře palivových článků	390
Ps60_70_parametry	Parametry laboratoře palivových článků	226
Ps60_70_poruchy	Indikace poruch laboratoře palivových článků	148
Ps60_70_povely	Povely pro laboratoř palivových článků	177
Ps80_hodnoty	Hodnoty a stavy chladicí soustavy	268
Ps80_povely	Povely pro chladicí soustavu	110

6.2 Propojení databáze a vizualizace

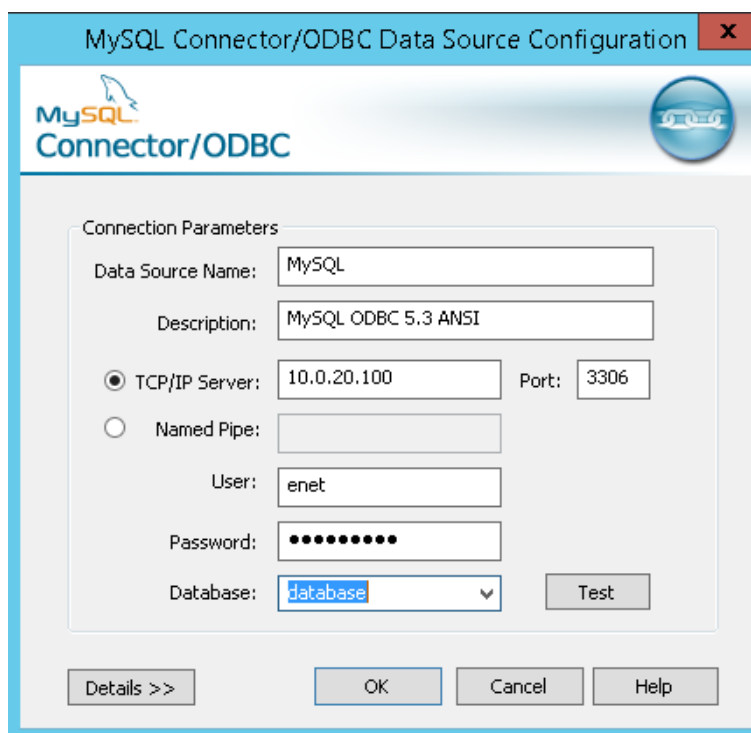
Z důvodu absence programu, který by plnil předchozí tabulky databáze v PostgreSQL, bylo nutné vytvořit program, který by plnění zajišťoval. Jak již bylo zmíněno v návrhu, byla k tomu využita serverová část vizualizace vytvořená v Promoticu, kde se nachází napojení na datové bloky PLC. Promotic totiž obsahuje objekt *PmADO*, jež zajišťuje přístup k databázím, které technologii ADO podporují. Tento objekt zprostředkovává zápis a čtení z/do tabulky databáze a zpracovává SQL příkazy.

Technologie ADO společnosti Microsoft zajišťuje otevřené připojení k databázi pro standard ODBC (Open Database Connectivity – standardizované rozhraní pro přístup k databázovým systémům). Databázový systém MySQL tuto technologii a rozhraní podporuje.

[14]

6.2.1 Nastavení ODBC

MySQL databáze byla nainstalována na server, na němž běží 64bitová verze systému Windows. Ovšem Promotic využívá 32bitových ovladačů. Z toho důvodu se pro propojení databáze a vizualizace musel nainstalovat 32bitový ovladač ODBC. Následně byl nakonfigurován ve *Správci zdrojů dat ODBC (32 bitový)* nový datový zdroj. Z ovladačů se vybral nově nainstalovaný, a to *MySQL ODBC 5.3 ANSI Driver*. V konfiguračním okně (viz obrázek 17) se nastavilo jméno datového zdroje; krátký popis; síťovou adresu zařízení, na kterém běží databáze; síťový port; uživatele; heslo a název databáze.



Obrázek 17 – Konfigurace ODBC

6.2.2 Nastavení objektu PmADO

Při vytváření objektu *PmADO* je nutné nastavit parametry připojení. Po stisku zeleného tlačítka umístěného vedle pole *Parametry připojení k databázi* v záložce *Hlavní* je nutno zvolit *ODBC – pojmenovaný zdroj ODBC*. Ve vyplňovacím poli je zapotřebí vyplnit název zdroje dat (DSN – data source name), což je *MySQL* a heslo uživatele:

```
dsn=MySQL;pwd=*****;
```

[22]

Dodatečné parametry souvisí s typem připojení. Ten může být synchronní nebo asynchronní. Synchronní typ připojení znamená, že metoda vytvoří požadavek a čeká na výsledek operace, kdežto asynchronní typ na výsledek operace nečeká. Tyto parametry pro synchronní typ připojení se zadávají ve formátu:

```
connect:sync;
```

nebo pro asynchronní typ připojení

```
connect:async;
```

6.2.3 Kontrola připojení objektu PmAdo k databázi

Prvním krokem je kontrola, jestli je zajištěno kontinuální spojení s databází pomocí metody *DbIsOpen* objektu *PmADO*, jež vrací hodnotu *true* nebo *false*. Kontrola připojení probíhá v hlavním panelu (tedy v prvku *PmiRoot*) při události *onRefresh*, jež je vyvolávána na základě periody časovače obrazů. Tato perioda je nastavena v hlavní kořenovém objektu aplikace (*PmRoot*) na hodnotu 0,5 sekundy. V případě, když je databáze připojena, metoda *DbIsOpen* vrátí hodnotu *true*, která se uloží do globální proměnné *MySQL_Komunikace* z tabulky dat *DB_Nastaveni*. Tato tabulka obsahuje mimo jiné i veškeré proměnné pro komunikaci s databází a zápis dat. Jestliže objekt se není schopen spojit s databází, uloží se do stejné proměnné hodnota *false*. Na základě této hodnoty se otevře dialogové okno.

[22]

Připojení objektu *PmAdo* k databázi souvisí se správným zadáním a nastavením parametrů a typu připojení. V dialogovém okně je tedy uživatel (správce serveru) požádán o zadání těchto dvou nastavení. Parametry a typ připojení jsou popsány výše (viz nastavení objektu *PmADO*). Po stisku tlačítka *Nastavit*, tedy zavolání události *onButtonUp*, se nejprve vypne dosavadní spojení metodou *DbClose* (nutné pro opětovné zavolání metody *DbOpen*, která otevírá spojení objektu *PmADO* a databáze), nastaví se zadané parametry a otevře se komunikace *PmAdo* s databází.

[22]

6.3 Zápis dat do databáze

Zápis dat do databáze je zprostředkován opět pomocí serverové vizualizace ovšem pomocí objektu *PmTimer*. Jedná se o časovač, ve kterém je periodicky vyvolána událost *onTick* na základě nastavené periody. Při vyvolání této metody se provede daný sled příkazů. Časovačů je vytvořených celkem čtyři, což znamená, že pro každý typ tabulek (hodnoty, parametry, poruchy a povely), existuje právě jeden časovač. Důvod vytvoření tolika časovačů je jednoduchý. Každý typ tabulek v databázi se zapisuje za odlišných podmínek. Zápis je spuštěn v okamžiku stisknutí dvoustavového tlačítka *Zapisovat do databáze* v dolním menu, na nějž je napojená proměnná typu *boolean*. Vedle tlačítka jsem vytvořil indikaci, zdali zápis probíhá bez chyby nebo zdali nastala chyba. Mimo jiné se při chybném zápisu do databáze otevře opět dialogové okno (viz výše), které vyobrazuje počet nepovedených zápisů.

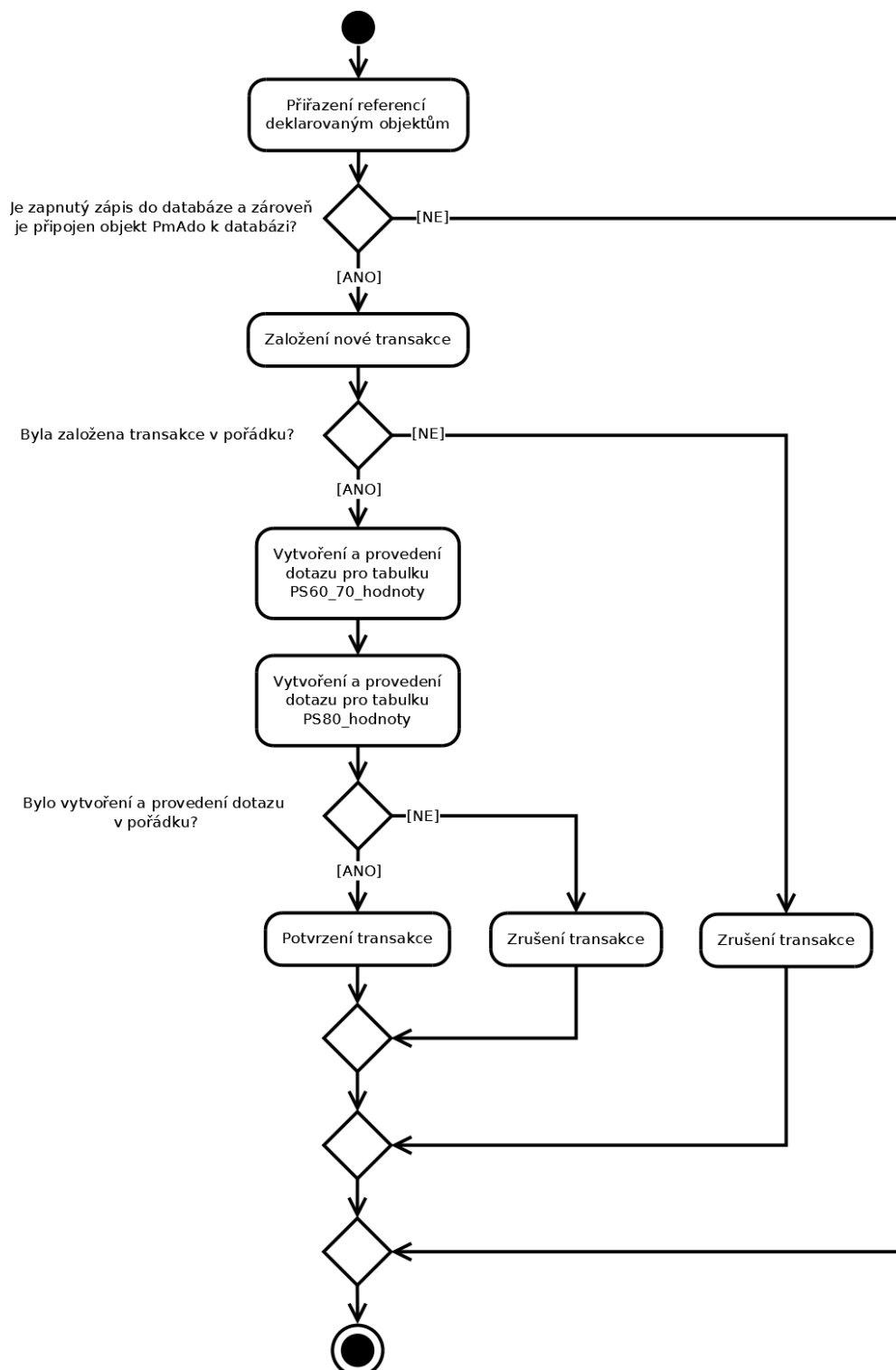
[22]

6.3.1 Zápis hodnot

Časovač pro zápis hodnot je vyvoláván každou vteřinu, to znamená, že hodnoty jsou zapisovány s vteřinovým odstupem. Aktivitní diagram níže (obrázek 18) popisuje zápis hodnot do databáze. V prvním kroku zápisu se přiřadí reference na deklarované objekty, které se pro zápis budou používat a to prostřednictvím metody *Pm*. Jestliže je spuštěn zápis a zároveň je objekt *PmAdo* připojen k databázi, tak pomocí metody *DbBeginTrans* je založena nová transakce. Vlastností objektu *PmAdo* *LastErr* se ukládá číselný kód poslední provedené metody, kterou se testuje, jestli založení nové transakce proběhlo v pořádku či nikoliv. V případě úspěšného založení nové transakce jsou vytvořeny nové dotazy pro tabulky hodnot technologií s označením *Ps60_70* a *Ps80*, které jsou poté provedeny. Kontrola úspěšného provedení obou dotazů spočívá opět z využití vlastnosti *LastErr*. Když oba dotazy

proběhly úspěšně je transakce potvrzena metodou *DbCommitTrans*. V případě neúspěšného provedení dotazů či založení nové transakce je nutno transakci nad připojenou databází zrušit metodou *DbRollbackTrans*.

[22]



Obrázek 18 - Aktivitní diagram zápisu tabulek hodnot do databáze

6.3.2 Zápis parametrů

Zápis parametrů je rozdílný v tom, že do databáze se hodnoty zapíše pouze při změně tabulky PS60_70_parametry. Při první inicializaci dat z PLC pro tuto tabulku, jinak řečeno metodou *onDataRecieve*, dojde k překopírování hodnoty do pomocné tabulky za pomoci cyklu *for*. Tato pomocná tabulka se při zapnutém zápisu do databáze (opět pomocí stejného tlačítka jako v předchozím případě) každou vteřinu porovnává s aktuální tabulkou opět za použití cyklu *for*. V případě, kdy dojde ke změně parametrů, dochází jako při zápisu hodnot k založení nové transakce a kontroly její správnosti; vytvoření a provedení dotazu; kontroly založení a provedení dotazu; potvrzení případně zrušení transakce v závislosti na kontrole jednotlivých částí. Na konci tohoto postupu zápisu parametrů se zkopírují změněné hodnoty do pomocné tabulky. Celý postup zápisu parametrů je taktéž popsán aktivitním diagram níže (obrázek 19).

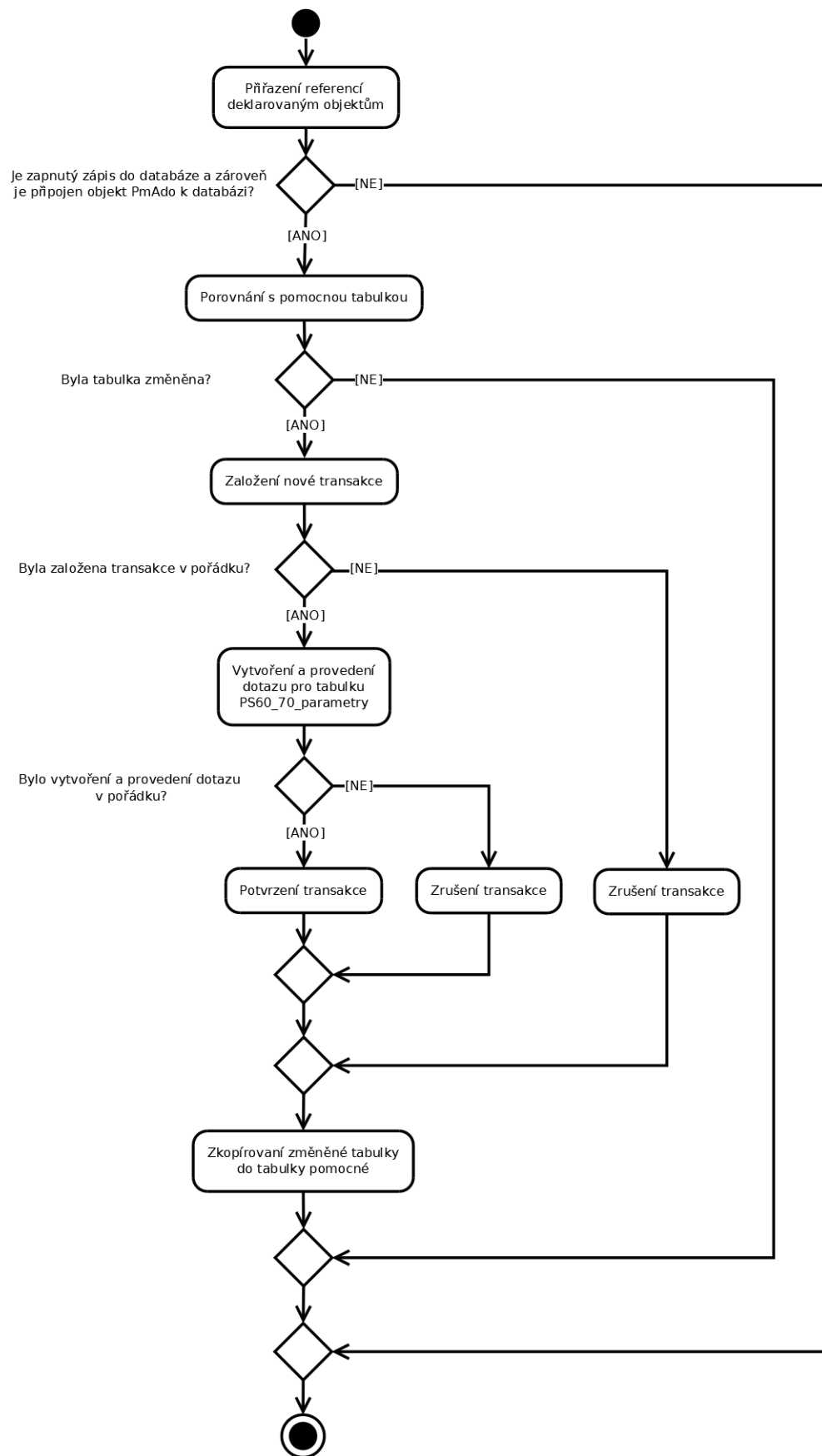
[22]

6.3.3 Zápis poruch

Poruchy se zapisují a kontrolují naprosto stejným způsobem jakožto zápis parametrů. Postup i použité metody a funkce jsou akorát jinak pojmenované. Perioda obou časovačů je nastavena na vteřinu, což znamená, že se parametry a poruchy kontrolují v pravidelných vteřinových intervalech. Není totiž nutno, aby se zbytečně zapisovaly data, které nemají žádný význam pro provoz laboratoře palivových článků.

6.3.4 Zápis povelů

Malý, ale celkem významný rozdíl v zápisu dat do databáze, nastává oproti zápisu parametrů a hodnot, kde se kontroluje změna tabulek při plnění tabulky povelů (PS060_70_povely a PS80_povely) v zápisu povelů. Perioda časovače je nastavena na 10 ms, protože povel zaslaný z vizualizace je PLC téměř okamžitě (v závislosti na periodě organizačního bloku označovaný jako OB1) nulován. Pro tento zápis se neporovnávají dvě tabulky, nýbrž změna jakékoliv hodnoty datového typu boolean z nuly na jedničku. Tím pádem po úspěšném zápisu do databáze nedochází k překopírování do pomocné tabulky.



Obrázek 19 - Aktivitní diagram zápisu parametrů

6.3.5 Tvorba dotazu

Vytváření a provedení dotazu je nejpodstatnější částí (akcí) všech typů zápisů, jež jsou popsány výše. Tato akce je graficky znázorněna pomocí následujícího diagramu (obrázek 19). Dotaz, jež používám pro zápis dat z PLC do databáze, je v jazyce SQL *INSERT INTO*. Tento typ dotazu má určitou syntaxi, kterou musí dodržovat, jakožto všechny ostatní dotazy v jazyce SQL. S tím souvisí i reprezentace datových typů, oddělovače a dodržování velkých a malých písmen. Obecná syntaxe dotazu *INSERT INTO* je následující:

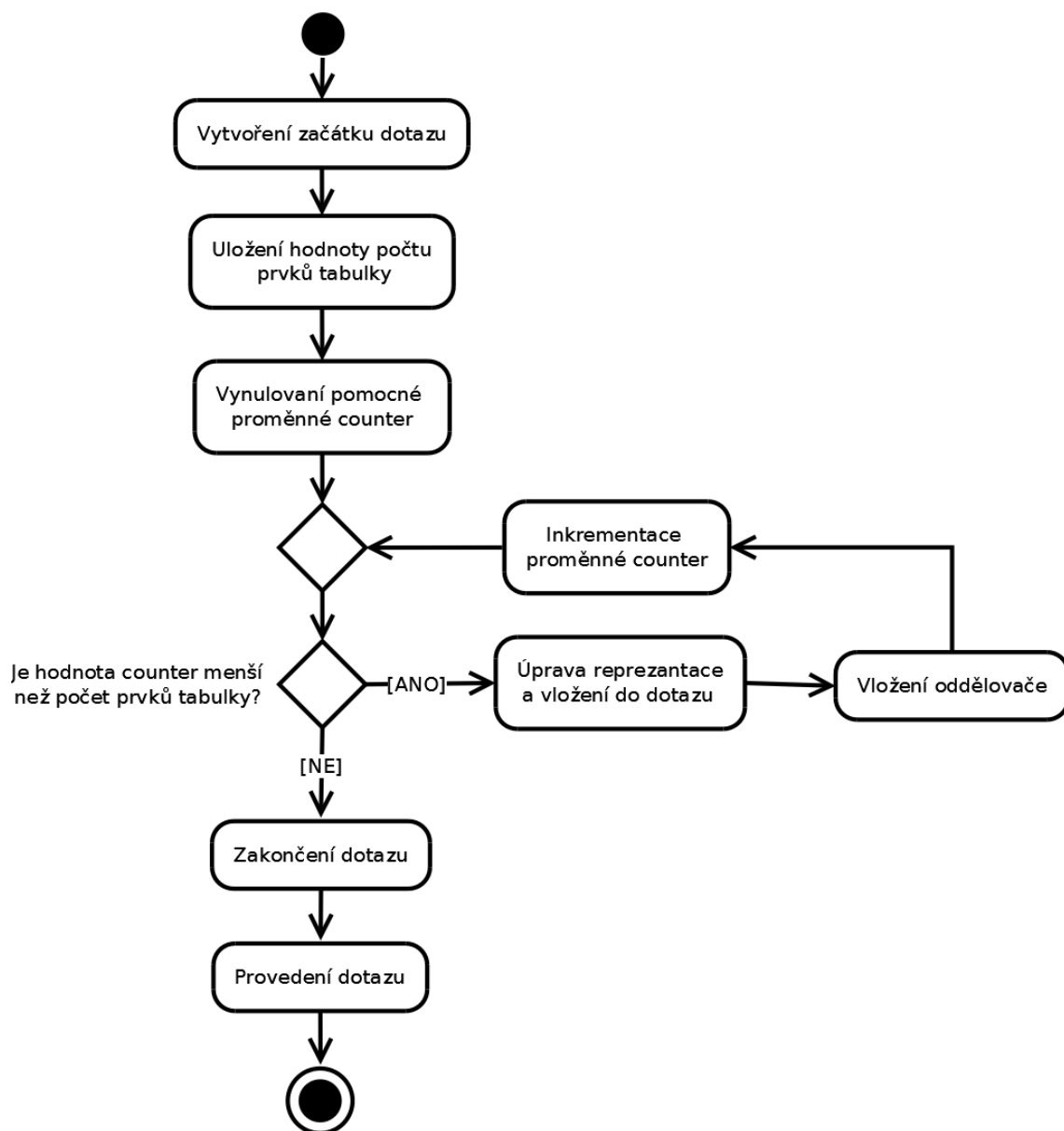
```
INSERT INTO nazev_tabulky VALUES (hodnota_sloupec_1, ... ,  
hodnota_sloupec_n);
```

Při vytváření začátku dotazu se do proměnné, například pro tabulku *PS60_70_hodnoty*, vloží řetězec *INSERT INTO ps60_70_hodnoty VALUES (CURRENT_TIMESTAMP(6))*. Funkce *CURRENT_TIMESTAMP(6)* vrací aktuální hodnotu data a času s přesností na 6 desetinných míst sekundy. Přesnost na tolik desetinných míst je důležitá, neboť tato funkce plní sloupec primárního klíče, který nesmí být duplicitní v celé tabulce. Dalším důležitým aspektem je fakt, že databáze MySQL má jako výchozí přesnost nastavenou na nulu a systém, na kterém je spuštěn *Promotic* i nainstalovaná databáze, není systémem reálného času. Což znamená, že když je nastavený zápis každou vteřinu a není nastavená přesnost funkce *CURRENT_TIMESTAMP*, tak může dojít k situaci, kdy zapíšu stejnou časovou známku, neboli k duplicitě primárních klíčů.

[1] [22]

Dotaz *INSERT INTO* plní jednotlivé sloupce tabulky v databázi postupně, proto je struktura tabulky v databázi totožná s datovou tabulkou napojenou S7 protokolem na daný datový blok v PLC. K zapsání daných hodnot stačí znát počet prvků tabulky. Následně se pomocí cyklu *for* doplní dotaz o jednotlivé hodnoty jdoucí postupně za sebou v jednoduchých uvozovkách. Před vložením hodnoty daného sloupce je ovšem z důvodu odlišné reprezentace čísel a datových typů nutno provést úpravu reprezentace dané hodnoty. *Promotic* používá jako oddělovač desetinných míst čárku ovšem v databázi a tedy i v dotazu musí oddělovačem desetinných míst být tečka. Z toho důvodu metodou *StringReplace* se nahrazuje v desetinných číslech desetinná čárka tečkou. Dalším výrazným rozdílem je reprezentace datového typu *boolean*. V databázi je *boolean* reprezentován čistě hodnotou 0 a 1. V systému *Promotic* to však je hodnota *True* pro logickou 1 a *False* pro logickou 0. Pokaždé, když se tedy jako hodnota objeví *True* nebo *False*, tak se nahradí číslem 1 a 0. Následně za každým prvkem se vkládá oddělovač hodnot, kterým je desetinná čárka a příčtu hodnotu *counter* o jedničku.

[22]



Obrázek 20 - Aktivitní diagram popisující vytváření a provádění dotazů

Následuje zakončení dotazu závorkou a středníkem. Posledním krokem je provedení dotazu metodou *DbExecute*, jejímž hlavním parametrem je samotný dotaz napsaný v syntaxi jazyka SQL.

[22]

6.4 Instalace a konfigurace systému Grafana

Instalace monitorovacího systému grafana se liší na různých operačních systémech. Pro Windows Server je nutné stáhnout soubor z oficiálních stránek Grafany, rozbalit jej a nakopírovat na požadované místo. Hlavní nastavení a konfigurace se nachází v adresáři */conf* v souboru *custom.ini*. Popis jednotlivých možností konfigurace je několik. Informace o významu jednotlivých typů nastavení lze dohledat na oficiálních stránkách.

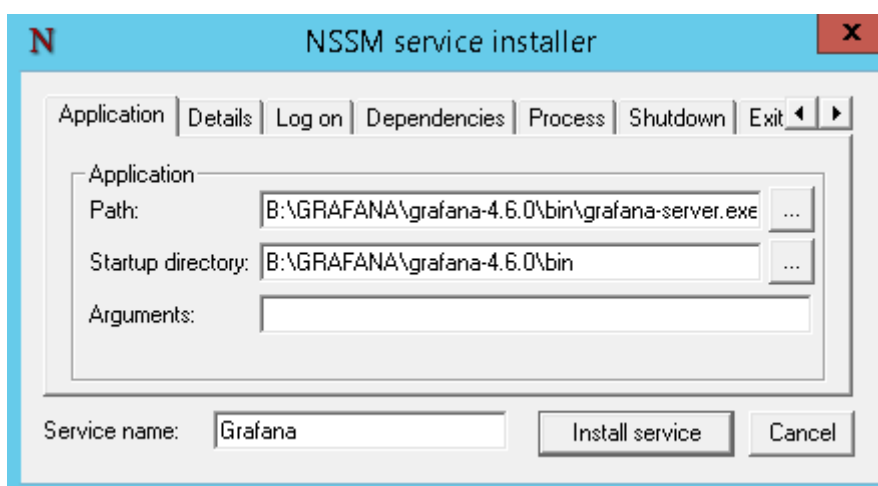
[24]

Pod konfigurační částí *Server* je nutné nastavit síťový port na jeden z volných, nevyužitých portů a to například port 60002. Síťovou adresu není nutno zadávat neboť Grafana poběží na serveru, kde je uložena, ale musí se nastavit doména (*domain*) na *localhost*. Dále bylo nutné nakonfigurovat propojení s databází v části *Database* a to následovně:

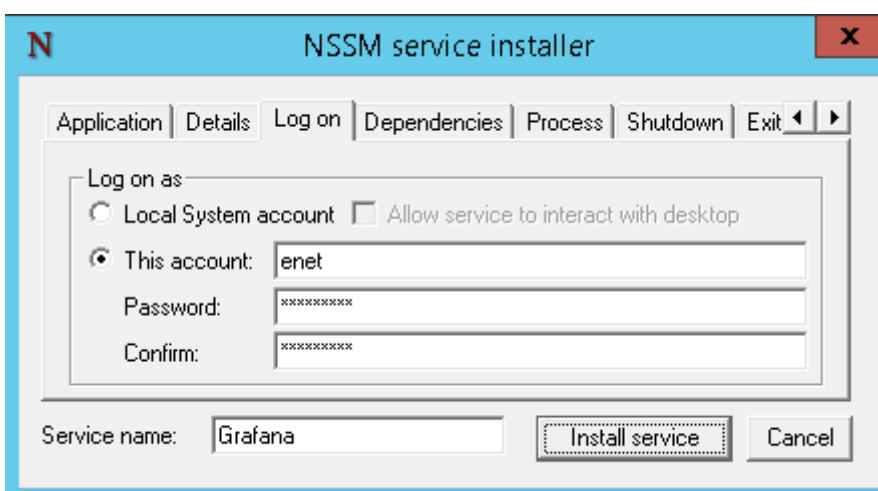
```
type = mysql
host = 10.0.20.100:3306
name = Database
user = enet
password = *****
```

Spuštění Grafany jako služby v systému Windows se provedí následujícími kroky. Nejprve je vhodné stáhnout program nssm (service manager). Pomocí příkazového řádku se otevře adresář s tímto programem a příkazem `nssm install Grafana`, se spustí instalaci služby Grafana (viz obrázek 21 a 22). Po otevření dialogového okna bylo nutné nejdříve nastavit cestu k souboru *grafana—server.exe* v záložce *Application*. V záložce *Log on* je nastavení uživatele, který má právo službu Grafana spustit, pozastavit popřípadě restartovat.

[24]



Obrázek 21 - Nastavení cesty pro spuštění Grafany jako služby



Obrázek 22 - Nastavení uživatele, který může službu konfigurovat

6.5 Struktura panelů

Grafana umožňuje vytváření panelů, v nichž lze tvořit grafy, tabulky, text či různé další prvky v závislosti na nainstalovaných zásuvných modulech (pluginech). Na základě dostupných dat a technologiích důležitých pro laboratoř palivových článků byla navržena a realizována struktura čtyř panelů. Jsou to panely určené pro chladicí soustavu palivových článků, měnič U50, přívod vodíku a vzduchu (kompresorů), a samotné palivové články.

Nedílnou součástí každého panelu je nastavení časové osy, tedy přesněji časový rozsah, podle nějž, se mají hodnoty vypisovat. Jedná se například o rozsahy od libovolných hodnot časů a dat. V grafech či jiných grafických prvcích lze tedy vykreslovat data za posledních pět minut, ale také i data v minulém roce, měsíci, za poslední rok a či posledních pár hodin. Tento časový rozsah byl prozatím představen u všech panelů na posledních 24 hodin s periodou obnovy dat 1 minuta. Tento rozsah si uživatel může však kdykoliv dle potřeby změnit.

Pro přehlednost jednotlivých panelů a minimalizaci množství vykreslovaných dat a tím snížení doby vykreslení došlo k rozdělení všech panelů dále na takzvané řádky, které se dají otevřít nebo skrýt. Otevření řádku znamená zobrazení grafických prvků daného řádku (buď jednoho, nebo více) a tím pádem vyčítání dat z databáze.

6.5.1 Panel chladicí soustavy palivových článků

Tento panel (obrázek 23) je rozdělen podle základních veličin měřených v chladicí soustavě určené pro palivové články a to na:

- průběhy teplot jednotlivých článků;
- průběhy teplot v chladicí soustavě;
- průtoky kapaliny v okruhu palivových článků;
- Motohodiny čerpadel.



Obrázek 23 - Panel pro chladicí soustavu

První řádek obsahuje graf teplot na výstupu jednotlivých palivových článků v jednotkách °C (stupňů Celsia). Veškeré grafické prvky grafany se nastavují tlačítkem *edit* při umístění kurzoru myši na název daného objektu. V základní nastavení se nastavuje název objektu, popis, průhlednost pozadí, výška a šířka. V další záložce s označením *Metrics* se nastavují dotazy pro jednotlivé průběhy. Grafana umožňuje užívání i několika datových zdrojů zároveň. Proto je nutno vybrat před nastavením jednotlivých průběhů správný datový zdroj. Dotaz pro vyčítání dat pro daný časový průběh vypadá následovně:

```
SELECT
  FLOOR(UNIX_TIMESTAMP(timestamp)) as time_sec,
  pac03_ct003 as value,
  'Teplota na výstupu PČ 1' as metric
FROM ps80_hodnoty
WHERE $__timeFilter(timestamp)
GROUP BY UNIX_TIMESTAMP(timestamp) DIV ($__interval_ms / 200)
```

[1][24]

Grafana pro výběr dat týkajících se průběhů pro grafy a obecně pro své prvky využívá vnitřních proměnných označených jako *time_sec*, *value* a *metric*. Označení *time_sec* nesou sloupce databáze reprezentující čas. V mém případě se jedná o sloupec s časovou značkou, který má definovaný přesný tvar a šest desetinných míst, jež Grafana neumí pro časovou osu používat. Proto je nutné v jazyce SQL použít nejprve funkci *UNIX_TIMESTAMP*, která vrací počet sekund po 1970-01-01 00:00:00, a poté ji zaokrouhlit na celá čísla funkcí *FLOOR*. *Value* je proměnná používaná pro průběh, tedy se jedná o hodnoty osy Y, která souvisí s výběrem požadovaného sloupce databázové tabulky a *metric* je označení pro popis daného průběhu. Nedílnou součástí dotazu je výběr správné tabulky za příkazem *FROM* a filtrace data nacházejících se pouze v časovém rozsahu nastaveného panelu pomocí makra *\$__timeFilter()* vytvořeného vývojáři Grafany za příkazem *WHERE*, který vybere data jen v případě splnění podmínky. Což znamená, že jsou vybraná pouze data s časovou značkou nacházející se v daném časovém rozsahu panelu.

[1][24]

Takovýto dotaz má však při velkém časovém rozsahu za následek vykreslení velkého množství dat (přesněji všech dat zapisovaných do databáze každou vteřinu), což může vést ke zpomalení zpracování dotazů a dokonce i pádu monitorovacího systému. Z toho důvodu byl použit příkaz *GROUP BY UNIX_TIMESTAMP(timestamp) DIV (\$__interval_ms / 200)*, kterým je vybírána pouze část všech dat, která se mění v závislosti na časovém rozsahu. Dojde ke spojení dat v určitém časovém bodě, tím pádem se nevyčítají z databáze všechna data, ale jen část. Což jinak řečeno znamená, že při zvyšujícím se rozsahu se zvýší i časová mezera mezi vykreslovanými body grafu.

Další důležitou záložkou pro nastavení grafu je nastavení popisků os a jednotek daných veličiny.

Stejné nastavení se týká i dalších grafů tohoto panelu kromě posledního řádku, který obsahuje textový prvek pro vypsání aktuálních doby běhu čerpadel v sekundách. V prvních dvou záložkách je nastavení tohoto prvku obdobné jako u grafů. V záložce nastavení (neboli Options) je nutno nastavit

jakou hodnotu vypisovat a jaký vzhled má mít, což spočívá v nastavení barvy, velikosti písma a výběru zdali vypisovat aktuální hodnotu, průměrnou, nejvyšší či nejnižší na daném rozsahu.

[1][24]

6.5.2 Panel měniče U50

V panelu s názvem měnič U50 (obrázek 24) se vyobrazují průběhy hodnot požadovaného a dodávaného proudu; napětí na meziobvodu a dodávaného výkonu; teplot tranzistorů, včetně řídicí jednotky a průtoku chladiva měničem s využitím grafů, jež jsou nastaveny stejně jako grafy panelu chladicí soustavy. Rozdělení řádků je následující:

- průběhy požadovaného a dodávaného proudu;
- průběhy napětí na meziobvodu a dodávaného výkonu;
- průběhy teplot tranzistorů a řídicí jednotky;
- Průtok chladiva.



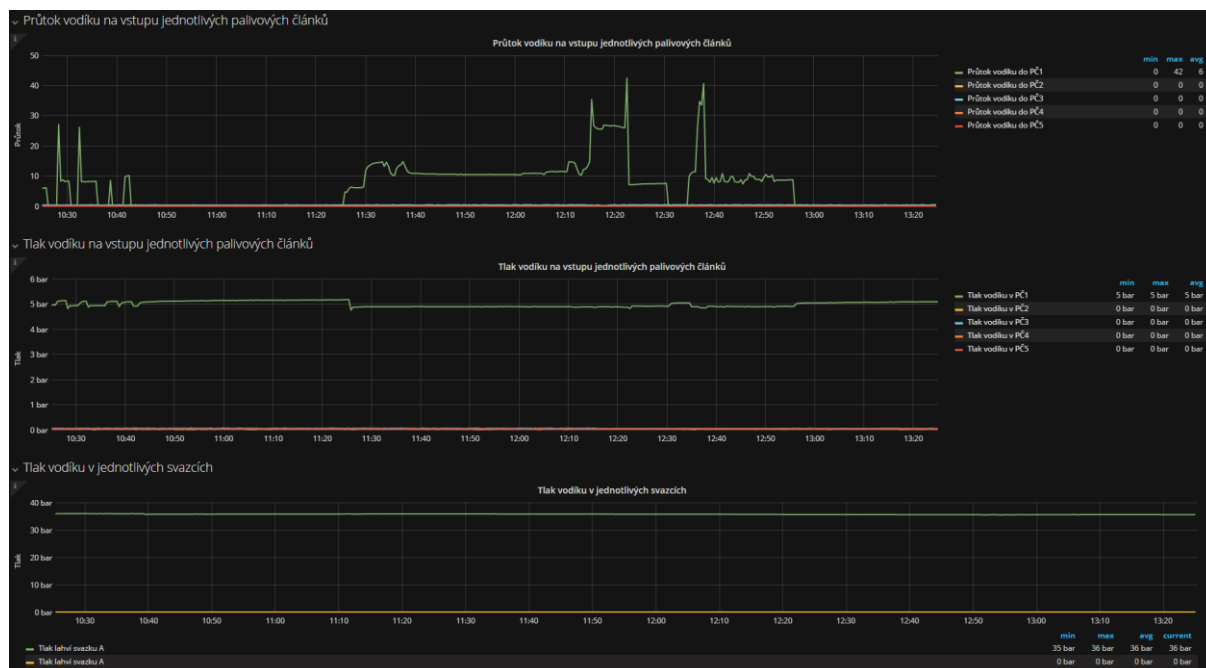
Obrázek 24 - Panel pro měnič U50

6.5.3 Panel pro přívodu vodíku a kompresory

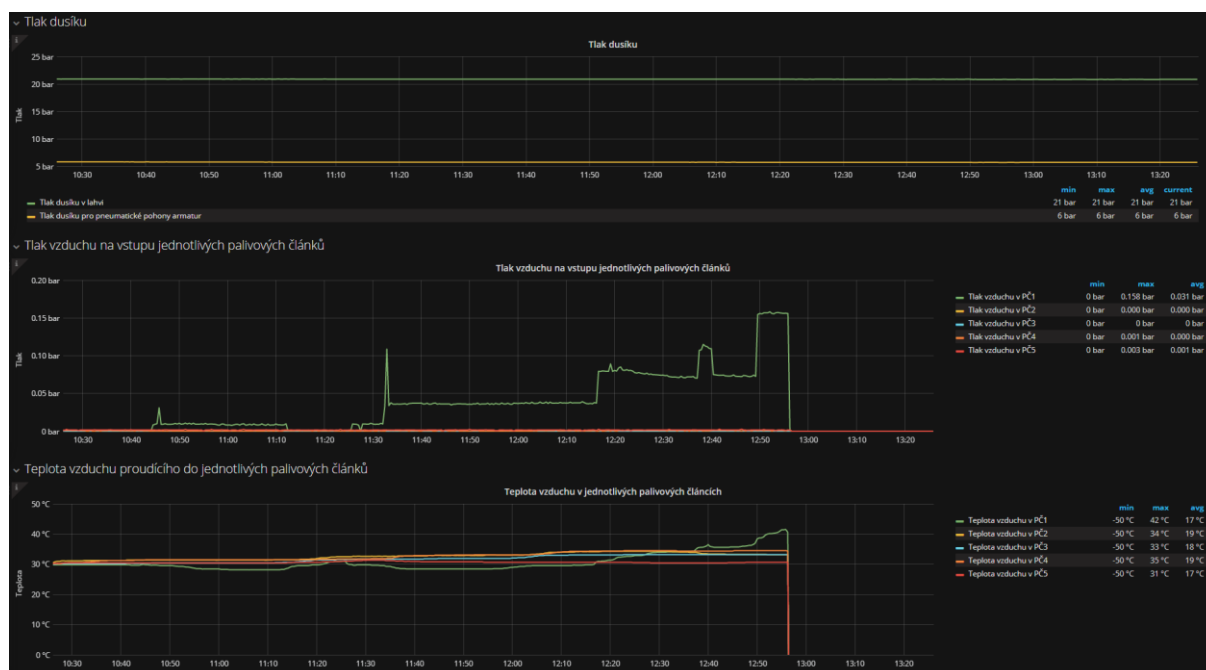
Palivem pro palivové články je vzduch a vodík. Přívodní potrubí vzduchu i vodíku obsahuje relativně velké množství senzorů, jež je vhodné monitorovat. Rozdělení jednotlivých řádků tohoto panelu souvisí čistě s danou měřenou veličinou na přívodu vzduchu a vodíku. Panel (vyobrazen na obrázku 25 a 26) je rozdělen na následující řádky:

- průtok vodíku na vstupu jednotlivých palivových článků;
- tlak vodíku opět na vstupu jednotlivých palivových článků;
- tlak vodíku v jednotlivých svazcích;
- tlak dusíku (kterým jsou řízeny pneumatické ventily);
- tlak vzduchu na vstupu jednotlivých palivových článků;

- teploty vzduchu;
- proudění vzduchu (neboli průtok).



Obrázek 25 - První část panelu pro přívod vodíku



Obrázek 26 - Druhá část panelu pro přívod vodíku

6.5.4 Panel palivových článků

Z pohledu provozu laboratoře palivových článků je nejdůležitější právě panel palivových článků (obrázek 27). Jsou v něm vyobrazeny pomocí grafů a textových prvků nejdůležitější veličiny související s provozem jednotlivých palivových článků. Palivové články, totiž nemusíš běžet všechny

na jednou, ale v době testování se může pracovat pouze s určitými. Tento panel je tedy rozdělen na pět řádků, kde každý řádek souvisí s daným palivovým článkem (1 až 5).

První důležitou veličinou je měření napětí na daném zásobníku palivových článků. Tato hodnota je přepočítávána PLC z průměrné hodnoty a to tak, že průměrná hodnota je vynásobená celkovým počtem vnitřních článků daného zásobníku.

Vedle grafu s průběhem napětí byl umístěn graf dodávaného proudu, jehož hodnota je dána měničem. Všechny palivové články jsou zapojeny v sérii, což znamená, že hodnota proudu je ve všech palivových článcích stejná. Závisí ovšem na tom zdali zásobník palivových článků běží či nikoliv. Proto hodnota dodávaného proudu je nenulová jen v případě, kdy daný zásobník je v provozu.

Pod předchozími dvěma grafy byly umístěny časové průběhy celkového výkonu a vytvořeného tepla (opět pomocí grafů), přičemž výkon počítám jako součin napětí a proudu, a dodávané teplo pomocí vztahu 1:

$$P_{HEAT} = I \cdot \left(1,23 - \frac{U_{STACK}}{n}\right) \cdot n [kW] \quad (1)$$

kde I značí proud zásobníku, U_{STACK} označuje celkové napětí na zásobníku a n počet vnitřních článků.

[21]

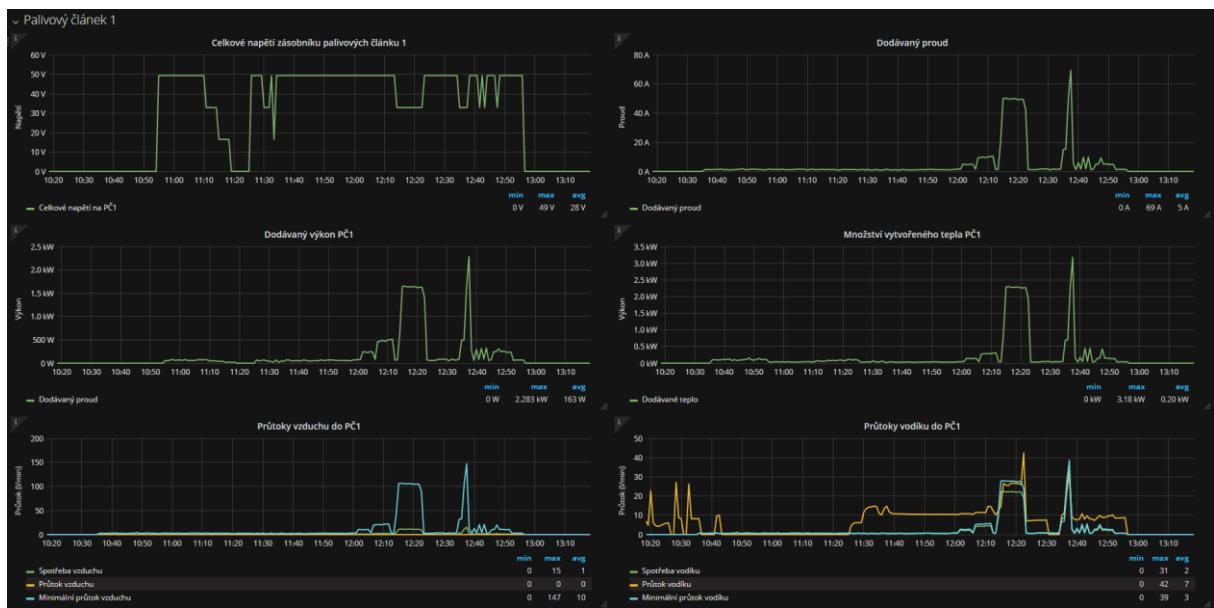
Dalšími z grafů jsou grafy s průtoky vzduchu a vodíku do daného zásobníku palivových článků. Jedná se o dva samostatné grafy související s daným typem palivem, které vykreslují průběhy průtoků, jejichž hodnota je získávána pomocí průtokoměrů; spotřeby vzduchu a průběhy minimálního průtoku daného paliva, které by měly v článku být. Spotřeba vzduchu se spočítá pomocí:

$$M_{vzduchu} = 3,483 \cdot 10^{-3} \cdot I \cdot n [l/min] \quad (2)$$

kde I je opět proud zásobníku a n počet vnitřních článků. Spotřeba vodíku se vypočítá obdobně s tím rozdílem, že namísto konstanty 3,483 je použita hodnota 6,965. Minimální průtok daného paliva je součin spotřebovaného paliva vynásobený konstantou 1,25. Veškeré tyto výpočty jsou dány vztahy definovanými výrobcem těchto typů zásobníku.

Pod všemi grafy u každého palivového článku se nachází hodnoty doby běhu jednotlivých článků, číslo vnitřního článku zásobníku, který nejčastěji překročil minimální hranici napětí (0.3 V) a číslo vnitřního článku, který naopak překročil nejčastěji horní hranici napětí (1 V). Ukázka vzhledu grafů s důležitými veličinami pro palivový článek 1 je na obrázku 23.

[21]



Obrázek 27 - Panel palivových článků - článek 1

7 Návrh bezpečnosti a zabezpečení provozu

Posledním bodem mé diplomové práce je zvýšení zabezpečení a bezpečnosti provozu laboratoře palivových článků. Toto zvýšení nesouvisí pouze s automatickým módem, ale také obecně při testování a provozu v manuálním režimu. Celou touto problematikou se zabývá následující kapitola, kde v první fázi je provedena analýza míry nebezpečí, které vzniká při provozu laboratoře, a analýza míry zabezpečení.

7.1 Analýza laboratoře z pohledu nebezpečí výbuchu

Zásobníky palivových článků při svém provozu vypouštějí malé množství vodíku do okolí. Toto množství je dáno vztahem:

$$M_{\text{vypou štěného vodíku}} = 0.593 \cdot 10^{-3} \cdot I \cdot n \text{ [l/min]} \quad (3)$$

kde I je proud zásobníku a n počet vnitřních článků. To znamená, že při maximálním možném proudu, jež je roven 230 A, bude jeden zásobník vypouštět 38 ml vodíku za jednu minutu do svého okolí. Všechny články tedy při plném zatížení budou dohromady vypouštět 190 ml vodíku za minutu. [21]

Laboratoř palivových článků se na základě informací výše řadí k nebezpečným prostorům, kde může dojít k výbušnému prostředí v takovém rozsahu, že to vyžaduje potřebné speciální opatření. Pravděpodobnost, vyjadřující s jakou mírou může dojít k výbušnému prostředí, se vyjadřuje pomocí přiřazení daného prostředí do zón. Tyto zóny jsou definovány pravděpodobností výskytu výbušné atmosféry za určitý čas. Pro prostory s nebezpečím výbuchu plynů, kde se řadí i laboratoř palivových článků či chemický průmysl, farmacie, čerpací stanice a podobně, jsou to následující zóny:

- Zóna 0 – Prostor, ve kterém je výskyt výbušné atmosféry trvalý nebo dlouhodobý, neboli tvoří více než 10% z provozní doby (nebo je přítomna výbušná atmosféra při nepřetržitém provozu dobu větší než je 1000 hodin za rok);
- Zóna 1 – Prostor, ve kterém je výskyt výbušné atmosféry za běžného provozu pravděpodobný, neboli tvoří 0,1 až 10 % z provozní doby (nebo je přítomna výbušná atmosféra 10 až 1000 hodin za rok);
- Zóna 2 – Prostor, ve kterém je výskyt výbušné atmosféry za běžného provozu nepravděpodobný, ale možný, neboli tvoří méně než 0,1 % z provozní doby (nebo je přítomna výbušná atmosféra méně než 10 hodin ročně při nepřetržitém provozu).

[20]

Laboratoř se tedy řadí k zónám 0, neboť při automatickém režimu, bude nepřetržitě v malé míře se vyskytovat výbušná atmosféra.

Pravděpodobnost, že dojde k výbuchu, ovšem není daná jen výskytem výbušné atmosféry, ale také zdrojem iniciace, neboli zdrojem jiskření či tepelným zápalníkem hořlavé směsi. Zdrojem iniciace může být tedy jakékoliv zařízení, které není přímo určené do prostředí s nebezpečím výbuchu. Elektrická zařízení jsou klasifikována do kategorií v závislosti na různých provozních podmínkách včetně poruchových stavů, které mohou na daném elektrickém zařízení nastat. Na základě použitelnosti zařízení v daném typu prostředí se dle směrnice ATEX 94/9/EC zařízení dělí na:

- Skupinu I – zařízení pro doly s nebezpečím výbuchu důlního plynu;
- Skupina II – všechna ostatní zařízení na povrch pro prostředí s nebezpečím výbuchu prachů i plynů a par.

[20]

Ve státech evropské unie se však používají harmonizované evropské normy IEC, které zařízení dělí na:

- Skupina I – opět se jedná o zařízení pro doly s nebezpečím výbuchu;
- Skupina II – stejné jako skupina II výše, s tím rozdílem, že se jedná pouze o zařízení do prostředí nebezpečí výbuchu plynů a par, jež se dále dělí na podskupiny IIA, IIB a IIC, dle dané třídy plynů (viz tabulka 9);
- Skupina III – zařízení na povrchu pro prostředí s nebezpečím výbuchu prachů.

[20]

Tabulka 9 - Skupiny výbušných plynů

Označení skupiny plynů	Výčet plynů
A	etan, metan, butan, propan, aceton
B	etylen, sirovodík
C	vodík, acetylen, sirouhlík

7.1.1 Použité elektrická zařízení nevyhovující výbušnému prostředí

Z důvodu nebezpečí vzniku výbušné atmosféry by měly elektrická zařízení, jež se nacházejí v prostorách laboratoře, se řadit ke skupině s označením Ex IIC (součástí označení pro tato zařízení je i symbol použitého druhu ochrany, teplotní třída a označení úrovně ochrany zařízení).

[20]

V laboratoři jsou však použity zařízení, které toto značení neobsahují a nesmí se tedy používat ve výbušných prostorách. Těmito zařízení jsou například: zdroj pro napájení vzdálených modulů Siemens s označením SITOP PSU200M, vzdálený modul ET200S, měnič Siemens G120C, zvlhčovač FOG100 Ambiente, atd.

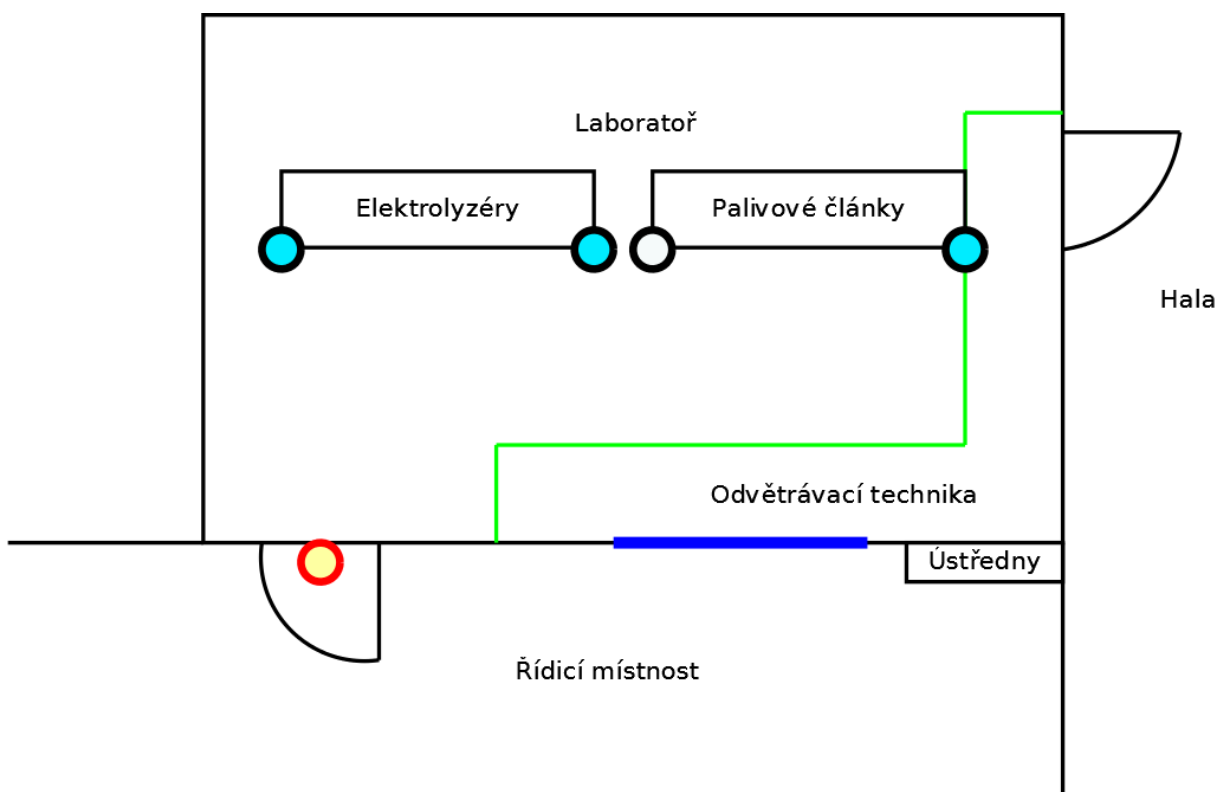
Krytí, zásuvky či rozvodné skříně jsou taktéž určeny pouze pro normální prostředí. Musí se ovšem vzít v potaz, že laboratoř obsahuje ochranné prvky a zařízení, které zabraňují vzniku výbušné atmosféry (viz níže).

7.1.2 Ochranná zařízení použitá v laboratoři

Jak již bylo zmíněno výše, laboratoř se řadí k nebezpečným výbušným prostředí. Využívá však opatření zamezující a předcházející vzniku velké koncentrace výbušného vodíku tedy výbušné atmosféry. Těmi to prvky jsou:

- Vyhodnocovací ústředny;
- Snímače koncentrace vodíku a kyslíku;
- Odvětrávací technika;
- Optická a akustická signalizace.

Rozmístění těchto ochranných prvků je vyobrazeno na obrázku 28. Modré kruhy s černým okrajem reprezentují snímače koncentrace vodíku, bílý kruh značí snímač koncentrace vzduchu a žlutý kruh s červeným okrajem je signalizační technika. Snímače jsou umístěny asi dvacet centimetrů pod stropem a signalizační technika nad dveřmi, které vedou do laboratoře. Vedle těchto dveří je v úrovni pasu nouzový vypínač. V laboratoři se také pod stropem nachází odvětrávací technika s přívodem a odvodem vzduchu. Mimo laboratoř v prostorách řídicí místnosti jsou umístěny vedle okénka (hrubá modrá čára) vyhodnocovací ústředny, vedle níž se nalézá řídicí jednotka odvětrávání.



Obrázek 28 - Umístění ochranných prvků laboratoře

Prvním z těchto zařízení je vyhodnocovací ústředna detekce plynů DEGA UMA CU (obrázek 29), k níž jsou připojeny snímače koncentrace vodíku a kyslíku. V případě, kdy dojde k překročení určité koncentrace, dojde k spuštění dalších ochranných prvků. Jedná se o dvě úrovně koncentrací: 1. stupeň koncentrace a 2. stupeň koncentrace. Při dosažení první úrovně koncentrace se spustí optická a akustická signalizace a předává se signál ke spuštění havarijní ventilace (odvětrávací technice). K návrtu do původního stavu dochází automaticky po poklesu pod hranici prvního stupně koncentrace. V případě překročení 2. stupně koncentrace se opět spouští příslušná optická signalizace a akustická signalizace, spouští se havarijní ventilace a zároveň dojde k odepnutí napájení veškerých přístrojů laboratoře. Stejný postup nastává v případě „poruchy koncentrace“. Po vyhlášení druhého stupně koncentrace nebo „poruchy koncentrace“ se návrat provádí až po kontrole laboratoře a stisknutím tlačítka reset poruchy umístěném na rozvaděči s označením CU103 před laboratoří.



Obrázek 29 - Vyhodnocovací ústředna DEGA UMA CU

7.2 Návrh zabezpečení a bezpečnosti

Laboratoř je vybavena ochrannými prvky, které zamezují vzniku výbušné atmosféry. Vodík nemusí ovšem unikat pouze z palivových článků, ale kdekoliv v přívodním potrubí. Toto potrubí je vybaveno malým množstvím tlakoměrů, z jejichž hodnot ovšem nelze poznat, zdali neuniká vodík někde na přívodním potrubí. Pro zvýšení bezpečnosti a zabezpečení provozu laboratoře palivových článků i v automatickém módu by bylo vhodné doplnit přívodní potrubí o další tlakové čidla a čidla koncentrace vodíku. Venkovní prostor, kde se nacházejí svazky lahví s vodíkem, jsou dobře odvětrávané, ale i tak by bylo vhodné i zde umístit čidla koncentrace vodíku.

Jak jsem již zmínil výše, v laboratoři se nacházejí elektrická zařízení, které by mohl být zdrojem vznícení. Proto nedílnou součástí mého návrhu zabezpečení a bezpečnosti je přemístění veškerých elektrických zařízení, která nejsou pro dané výbušné prostředí určena a to i přesto, že by k výbušné koncentraci dojít nemělo. Popřípadě tyto zařízení dát do vhodného ochranného krytí.

Dále lze zvýšit bezpečnost provozu a hlavně tedy zabezpečit správnou funkčnost článků, přemístěním sání vzduchu, který je vpouštěn na katodu. Sání se totiž nachází přímo v laboratoři, kde dochází ke smíšení vzduchu a vodíku. Vodík by měl být v pouštěn pouze ve směru na anodu. Nejlépe by se sání mělo nacházet v prostorách, kde nedochází ke kontaminaci vzduchu s jiným plynem ve velkém množství.

8 Závěr

V mé diplomové práci jsem se zabíral širokým rozsahem činností spjatých s mým oborem a laboratoří palivových článků výzkumného centra ENET ve Vítkovicích. Spolupracoval jsem se dvěma kolegy, kteří taktéž měli práci spjatou s tímto centrem. Jeden z kolegů vytvářel řídicí program a druhý novou vizualizaci. Naše práce na sebe vzájemně navazují.

V prvním kroku práce jsem analyzoval provoz laboratoře ze čtyř pohledů: z pohledu řízeného, řídicího a vizualizačního systému a z pohledu jejich vzájemného propojení. Pro nalezení problémových míst v komunikaci a chyb provozu jsem těmto systémům musel dobře porozumět.

Na základě analýzy laboratoře jsem poté provedl diagnostiku této komunikace a chyb provozu. Zjistil jsem, že hlavním problémem v komunikaci mezi vizualizací a řídicím programovatelným automatem pro technologii palivových článků bylo zpoždění reakce na zadaný povel, které dosahovalo i několika vteřin. To bylo dáno třemi faktory: nadřazeným řídicím systémem, velkým množstvím nepoužívaných rezerv a signálů v datových blocích a vizualizací. Dalšími problémy byla chybějící napojení na jednotky monitorování napětí palivových článků a řízení měniče z vizualizace. V rámci minimalizace zpoždění, a tedy i optimalizace datových toků, jsem navrhl novou strukturu řízení, kde dochází k přímému napojení řídicího PLC na serverovou část vizualizace, a odstranění nepoužívaných signálů a rezerv z datových bloků. S kolegy jsme tyto návrh úspěšně aplikovali a vytvořili novou strukturu řídicího systému a novou vizualizace ve vizualizačním prostředí Promotic, čímž jsme dosáhli reakce na zadaný povel v čase do jedné vteřiny. Dále jsem v rámci odstranění chyb vyzkoušel prakticky zapojení jednotek monitorování napětí a měniče pomocí patřičných převodníků a práci se sběrnici CAN a MODBUS. Tím jsem si prohloubil znalosti v této oblasti.

Dalším bodem mé práce byl návrh a realizace diagnostického nástroje pro záznam dat spojených s provozem laboratoře. Navrhl jsem tedy nástroj složený z databázového systému a vizualizace, jež graficky vyobrazuje časové průběhy důležitých veličin. Při realizaci tohoto nástroje jsem využil znalostí nabytých během středoškolského studia o databázových systémech a znalostí nabytých během vysokoškolského studia o vizualizačních systémech. Vytvořil jsem si tedy tabulky v databázi MySQL pomocí SQL dotazů, jež jsem následně plnil pomocí nové serverové části vizualizace, v níž jsem si vytvořil patřičné algoritmy, kterými jsem si sestavil a prováděl dotazy, jež mi překlápěli data z datových bloků přímo databázových tabulek. Jako poslední jsem se seznámil s prostředím Grafana, v níž jsem si graficky vykresloval časové průběhy veličin.

Dále jsem se seznámil s legislativou týkající se nebezpečných výbušných prostředí, abych mohl analyzovat provoz laboratoře z pohledu bezpečnosti a zabezpečení a navrhnout patřičná chybějící opatření popřípadě navýšit zabezpečení. Laboratoř však využívá některé ochranné prvky, které snižují koncentraci vodíku a zabraňují tak vzniku výbušné atmosféry.

Během vypracovávání této diplomové práce jsem se seznámil s velkým množstvím nových systémů a technologií. Prakticky jsem využil znalosti získané během studia a nabyt jsem dalších zkušeností a znalostí v oblasti oboru automatické a řízení. Vyzkoušel jsem si například práci se serverem či s převodníky. Úspěšně jsme s kolegy aplikovaly dané postupy a dosáhli zrychlení komunikace.

Práci lze dále rozšířit, například by šlo propojit elektrolyzéry s palivovými články a to tak, že palivový článek by jako palivo využíval vytvářený vodík z elektrolyzérů. V neposlední řadě by bylo možné po realizaci zbývajících technologií aplikovat ve vývojovém středisku ENET umělou inteligenci, která by se starala o vytváření elektrické energie jednotlivými technologiemi s ohledem na nejvyšší možnou dosažitelnou účinnost.

Literatura

- [1] OBE, Regina O. a Leo S. HSU. PostgreSQL: up and running. Second edition. Beijing: O'Reilly, 2015. ISBN 978-1449373191.
- [2] RINALDI, John S. *OPC - UA - Unified Architecture: The Everyman's Guide to the Most Important Information Technology in Industrial Automation*. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2016. ISBN 978-1530505111.
- [3] KRUTZ, Ronald L. *Industrial Automation and Control Systems Security Principles*. 2 edition. International Society of Automation, 2016. ISBN 978-1941546826.
- [4] BEHLING, Noriko H. *Fuel Cells: Current technology challenges and Future Research Needs*. 1 edition. [s.l.]: Elsevier, 2012. ISBN 978-0-444-45214-5.
- [5] KRIEDL, Marcel a Radislav ŠMÍD. *Technická diagnostika: senzory, metody, analýza signálu*. Praha: Ben - technická literatura, 2011. ISBN 80-7300-158-6. Elektronická kniha ve formátu PDF na CD ROM, 2011. ISBN 978-80-7300-314-2
- [6] MAJLING, Eduard. *Palivové články - princip funkce a dělení* [online]., 1 [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/akumulace-energie/palivove-clanky-princip-funkce-a-deleni/>
- [7] *Fuel Cells* [online]. California: Hydrogenics, 2017 [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <http://www.hydrogenics.com/technology-resources/hydrogen-technology/fuel-cells/>
- [8] *Types Of Fuel Cells* [online]. Washington: U.S Department of Energy, 2016 [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <https://energy.gov/eere/fuelcells/types-fuel-cells>
- [9] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 1999/92/EC* [online]. Brusel: Evropský parlament a Rada, 1999 [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A31999L0092>
- [10] *Struktura počítačových řídicích systémů* [online]. <http://uprt.vscht.cz>: Ústav počítačové a řídicí techniky, 2016 [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/F6/F6k63-stru.htm>
- [11] *Simatic S7-400, Power supply PS407* [online]. Mall Industry Siemens: Siemens, 2009 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/uk/Catalog/Product/6ES7407-0KA02-0AA0>
- [12] *Simatic S7-400H, CPU 412-5H* [online]. Mall Industry Siemens: Siemens, 2009 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/Product/6ES7412-5HK06-0AB0>
- [13] *Komunikace Siemens* [online]. snap7.sourceforge.net: Sourceforge, 2011 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: http://snap7.sourceforge.net/siemens_comm.html
- [14] *ADO technology* [online]. www.s3schools.com: Refsnes Data, 2017 [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: https://www.w3schools.com/asp/ado_connect.asp
- [15] *Storage engine* [online]. dev.mysql.com: Oracle, 2017 [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: <https://dev.mysql.com/doc/refman/5.5/en/storage-engines.html>

- [16] *Architektura klient-server* [online]. Wilmington, USA: MANAGEMENTMANIA.COM, 2016 [cit. 2018-03-11]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/architektura-klient-server>
- [17] [online]. Treviso: adfweb, 2016 [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: http://www.adfweb.com/download/filefold/Profibus_Slave_serial_comunication_Master_MN67561_ENG.pdf
- [18] Diagnostika a testování elektronických systémů. [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://www.umel.feec.vutbr.cz/bdts/index.php/multimedialniucebnice-menu/diagnosticky-systém>
- [19] *Diagnostické systémy* [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: https://lms.vsb.cz/pluginfile.php/583654/mod_resource/content/1/DTS_1_Pojmy.pdf
- [20] Elektrická zařízení do prostředí s nebezpečím výbuchu. *Elektro* [online]. 2010, 2010(05), 7 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/41113.pdf>
- [21] *Nedstack Fuel Cells: Product specifications of XXL stacks* [online]. Arnhem: Nedstack, 2017 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://nedstack.nl/product-specifications-of-xxl-stacks/>
- [22] *Vizualizační systém Promotic: Dokumentace* [online]. Ostrava: Promotic, 2017 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://www.promotic.eu/cz/pmdoc/PmDocDefault.htm>
- [23] *Programový systém Control Web* [online]. Zlín: Moravské přístroje, 2017 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.mii.cz/cat?id=146&lang=405>
- [24] *Grafana: Documentation* [online]. Grafana Labs, 2018 [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: <http://docs.grafana.org/>